М. С. САМАРИН

ВОЛЬТ, АМПЕР, ОМ И ДРУГИЕ

ЕДИНИЦЫ ФИЗИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН В ТЕХНИКЕ СВЯЗИ




SI
SI
SI
SI
SI
SI
SI

М. С. САМАРИН

ВОЛЬТ, АМПЕР, ОМ И ДРУГИЕ

ЕДИНИЦЫ ФИЗИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН В ТЕХНИКЕ СВЯЗИ



Москва,
«Радио и связь»
1988

ББК 32.88
С 17
УДК 621.39

Самарин М. С.

С 17 Вольт, ампер, ом и другие. Единицы физических величин в технике связи. – М.: Радио и связь, 1988. – 184 с.: ил.

ISBN 5-256-00115-9

В популярной форме поясняется смысл единиц физических величин, используемых в технике электросвязи, приводятся примеры их применения, сообщаются краткие сведения об ученых и изобретателях, в честь которых эти единицы получили свое наименование.

Для специалистов в области связи, может быть полезна молодежи, которой предстоит выбрать профессию.

$С \frac{2402040000-028}{046(01)-88}$ 109-88 **ББК 32.88**

Рецензент Б. П. Хромой

Редакция литературы по электрической связи

ISBN 5-256-00115-9

ПРЕДИСЛОВИЕ

Сколько существует единиц физических величин? Думается, что ни один специалист в области метрологии не сможет ответить на этот вопрос. Многие тысячелетия назад наши далекие предки, пытаясь измерять длину, площадь, объем, в качестве эталона использовали размеры частей собственного тела. Так, на основе антропометрии появились вершки, локти, футы, дюймы и др. При этом единицы с одинаковыми названиями зачастую существенно различались по размерам. В России, например, применялось 36 единиц для измерения длины, площади, объема и массы. Подобный субъективизм в оценке вполне реальных физических параметров всегда был препятствием на пути развития техники, науки и торговли.

Впервые серьезная попытка создания единой международной системы единиц была предпринята в конце XVIII в. (основные единицы — метр, килограмм). Метрическая конвенция признана нашей страной в трудном 1918 г. К середине текущего века возникла насущная необходимость в разработке международной системы единиц, объединяющей все единицы физических величин, которые применяются на практике. Проект системы СИ, или SI (System International), был подготовлен в 1960 г., а уже в 1961 г. вышел соответствующий стандарт СССР. С 1979 г. после окончательного редактирования система СИ утверждена в качестве обязательного государственного стандарта страны. Позднее система стала общей для всех стран — членов Совета Экономической Взаимопомощи.

Для сравнения можно отметить, что несмотря на неоднократные попытки США не смогли перейти на метрическую систему, и только в 1975 г. Конгресс принял решение об осу-

ществлении в течение 10 лет основного комплекса мероприятий по введению системы СИ.

В Основных направлениях экономического и социального развития СССР на 1986 – 1990 годы и на период до 2000 года указывается, что для дальнейшего неуклонного подъема материального и культурного уровня жизни народа требуется ускорение социально-экономического развития, всемерная интенсификация и повышение эффективности производства на базе научно-технического прогресса. В свою очередь, указанные задачи могут быть успешно решены при наличии хорошо работающей метрологической службы.

Метрология – наука об измерениях, методах достижения их единства и требуемой точности. Ее история началась с создания первых единиц физических величин. Большинство единиц, наиболее часто используемых в технике электросвязи, названы по именам выдающихся ученых и изобретателей, жизнь и деятельность которых является частью истории развития общества. Здесь уместно привести высказывания двух всемирно известных ученых.

Джон Бернал (1901–1971), английский физик и общественный деятель:"В науке больше, чем в других институтах человечества, необходимо изучать прошлое для понимания настоящего и господства над природой в будущем.".

С. И. Вавилов (1891–1951), академик, президент АН СССР: "История науки нужна каждому из нас, как сама наука, для действия, для овладения природой, для изменения природы. Мы твердо убеждены, что наука, а с нею и история науки – необходимое звено на пути развития социалистического общества".

Очень точные и по сути близкие мысли. В этой книге автор стремился в доступной форме рассказать о единицах физических величин, названных в честь ученых и изобретателей. Многие события, упоминаемые в книге, происходили сотни лет назад, поэтому описания не всегда полны. Для понимания описываемых физических процессов вполне достаточно знания курса физики в объеме 8–10 классов средней школы.

1. ЭЛЕКТРОСВЯЗЬ? ЭТО ОЧЕНЬ ПРОСТО

Название этой главы не оригинально. Подобные названия нередко встречаются в книгах популяризаторов науки и техники. Авторы, оперируя обычно общеизвестными физическими законами, привлекая ограниченный объем новых сведений и используя аналогии, более или менее убедительно показывают, что все в мире просто. Поверим. Итак, электросвязь — это очень просто. Однако даже специалисты, работающие в различных областях электросвязи, не всегда могут понять друг друга. В повседневной практике они часто пользуются различными единицами физических величин. Какими? На этот вопрос можно ответить только после детального знакомства с электросвязью.

Наиболее позднее определение термина приводится в Советском Энциклопедическом Словаре, где указано, что электросвязь — это передача информации посредством электрических сигналов, распространяющихся по проводам, или радиосигналов. Конечно, определение составлено в общедоступной форме. В обоих случаях переносчиком информации являются электромагнитные волны. За радиоволнами следуют электромагнитные волны оптического диапазона, к которому относится и видимая часть спектра — свет с длиной волны 380 . . . . . . 780 нм. В оптическом диапазоне информацию можно передавать как по направляющему проводнику-световоду, так и по лучу в открытом пространстве.

Электромагнитные волны не всепроникающи. Например, они полностью поглощаются водой (кроме самых длинноволновых). В последнее время потребности в подводной связи резко возрастают, люди стали активно развивать марикультуру (отрасль хозяйствования, связанная с интенсивным использованием биологических ресурсов акваторий), вести морс-

кую добычу полезных ископаемых. Разрабатываются проекты крупнотоннажных подводных транспортных судов. Для обеспечения подводной связи электрические сигналы преобразуют в ультразвуковые акустические волны, которые хорошо распространяются в упругой среде, а в месте приема снова регенерируется электрический сигнал. Так возникла ультразвуковая гидроакустическая связь. Ультразвук используется для дистанционного управления бытовой радиоаппаратурой и в других случаях.

Радиоволны не всегда излучаются в открытое пространство. В диапазоне сверхвысоких частот с целью уменьшения потерь и повышения помехоустойчивости они также передаются по волноводам: системам плотно соединенных металлических труб обычно прямоугольного сечения.

Возникшее в начале века разделение электросвязи на проводную и радиосвязь давно устарело. В настоящее время информация в принципе может передаваться по линии, содержащей участки ультразвуковой, гидроакустической, радио, радиорелейной, кабельной, космической, волоконно-оптической, волноводной связи. На стыках должны устанавливаться соответствующие преобразователи энергии и сопрягающие устройства. Подобная задача ставится при создании Единой автоматизированной сети связи (ЕАСС) страны. В перспективе ЕАСС должна стать единой общегосударственной сетью, объединяющей все виды электросвязи, удовлетворяющей потребностям народного хозяйства и населения СССР и предназначенной для передачи всех видов информации, причем управление сетью должно быть полностью автоматизировано на основе использования современных быстродействующих ЭВМ.

Теперь для уточнения перечня единиц физических величин, с которыми приходится встречаться специалистам в области электросвязи, целесообразно познакомиться с датчиками исходных сигналов, поступающих в линии связи, и с общими принципами организации сетей связи.

В настоящей главе не преследуется цель изложения хронологии создания различных видов электросвязи, хотя многие

даты точно известны. Дело в том, что пригодные к эксплуатации средства связи создавались достаточно длительный период, а затем постоянно совершенствовались. Постепенно выявлялись наиболее важные эксплуатационные параметры, вырабатывались критерии их оценки.

В 30 . . . 40-е гг. прошлого века был создан первый вид электросвязи — телеграф. Короткие и длинные сигналы кода Морзе — точки и тире — стали элементами языка связистов всего мира. В течение следующих двух десятилетий к телеграфным линиям подключили буквопечатающие аппараты. Каждая буква стала передаваться комбинацией из пяти токовых и бестоковых сигналов (посылок) одинаковой длительности. Телеграфный сигнал имеет дискретный, т. е. прерывистый, характер. Такой сигнал легко транслировать на дальнее расстояние включением в линию на определенном удалении друг от друга электромагнитных реле с автономными источниками питания. Ослабленный из-за потерь в линии сигнал управляет работой реле. Так реализуется принцип усиления или, точнее, регенерации телеграфных сигналов.

Телеграфные аппараты — сложные электромеханические конструкции. При их создании потребовалось оценивать массу, габариты, силу срабатывания электромагнитов и ток через их обмотки, напряжение источников питания, давление печатающих узлов на бумажную ленту, скорость передачи информации. Многих единиц физических величин просто не было.

В 70 . . . 80-е гг. создавался телефон. Амплитуда и частота телефонного электрического сигнала меняются в соответствии с громкостью и тембром голоса говорящего. Такой сигнал получил название аналогового. Потребовалось измерить характеристики звукового поля, параметры микрофонов и телефонов, оценить разборчивость речи. Ухо человека на многие годы стало универсальным измерительным прибором.

Становление радиосвязи пришлось на конец прошлого — начало текущего веков. Вначале по радио передавались только телеграфные сообщения, а после освоения промышлен-

ностью выпуска электронных ламп радиосвязь стала самым универсальным видом связи. Первая в мире радиовещательная станция заработала в СССР в 1919 г. Начало производства электронных ламп — знаменательный этап. Стало возможным создание электронной измерительной аппаратуры и многих других устройств самого разнообразного назначения.

С созданием радио появилась необходимость оценивать характеристики электромагнитного поля и параметры быстропротекающих процессов преобразования сигналов, дальнейшее развитие получила электроакустика.

С середины прошлого века начались разработки первых систем факсимильной связи — передачи неподвижных плоских изображений: рисунков, карт, графиков и т. д.

Однако эти попытки долгое время оказывались неудачными, поскольку не было необходимой материальной базы. В создании последней приняли участие ученые многих стран. Около 80 лет потребовалось для того, чтобы изобрести фотографию, фотографический объектив, удобные фотографические материалы, лампу накаливания, фотоэлектронный умножитель, разработать электронные усилители и многие другие узлы. Реально факсимильные системы получили распространение в 30-е гг. текущего столетия. У нас в стране факсимильная связь долго называлась фототелеграфом, но теперь это название устарело. Дело в том, что в факсимильных системах способ регистрации изображения далеко не всегда бывает фотографическим, а сигнал не имеет ничего общего с телеграфным. В принципе это аналоговый сигнал, т. е. сигнал, непрерывно изменяющийся во времени.

Так появились факсимильная связь и факсимильный сигнал, амплитуда которого пропорциональна яркости каждой точки оригинала документа при обзоре его поверхности с помощью специальных анализирующих устройств. Потребовались и новые виды измерений: параметров светового поля оригинала, разрешающей способности объективов и т. д.

Не менее трудно шло развитие телевидения. Принципы построения факсимильных и телевизионных систем во многом схожи, но последние относятся к системам мгновенного дейст-


W
A
E
T
B
F
V
J
B
N
H
A B C F

вия, т. е. работающим в реальном масштабе времени, а следовательно, несоизмеримо более сложным и широкополосным. Разработка черно-белых вещательных систем приходится на 30 . . . 40-е гг., цветных — на 50 . . . 60-е. Возможность улучшения качественных показателей принимаемых изображений практически исчерпана. Сейчас специалисты многих стран обсуждают предложения о переходе на новый стандарт. Качество изображения на экранах теле- и киноэкранах почти сравняется.

В настоящее время телевидение стало мощнейшим средством массовой информации, эстетического и нравственного воспитания населения, образования. Телевидение широко применяется в промышленности, научных исследованиях, космосе и т. д. В телевизионных системах используется лучистый поток с длиной волны от 100 нм (мягкое рентгеновское излучение) до 50 . . . 60 мкм (инфракрасное излучение), т. е. далеко за пределами области чувствительности зрения. Соответственно значительно расширился перечень подлежащих решению метрологических задач.

По линиям связи передается великое множество разнообразных сигналов. Это могут быть сигналы электрокардиографа, точного времени, автоматического гидрометеорологического поста, телеметрической информации с космического объекта, управления производственными установками и т. д.

Нельзя также не упомянуть об испытательных сигналах. Они предназначаются для контроля качественных характеристик используемых систем связи и могут иметь простую или сложную структуру в зависимости от поставленной задачи. Например, вот какой забавный тест-сигнал используется для контроля технической готовности телеграфных линий связи страны и каналов космической радиосвязи в системе "Интерспутник": "В ЧАЩАХ ЮГА ЖИЛ БЫ ЦИТРУС? ДА, НО ФАЛЬШИВЫЙ ЭКЗЕМПЛЯР". Фраза сопровождается десятью цифрами и некоторыми символами. Такое сообщение не спутаешь с полезной информацией. В составе тест-сигнала использованы практически все буквы русского алфавита. Чем не проверка?

Не менее занятная фраза передается при контроле международных линий: "THE QUICK BROWN FOX JUMPS OVER

THE LAZY DOG" (Проворная бурая лисица прыгает через ленивую собаку). Она рекомендована Международным консультативным комитетом по телеграфии и телефонии. Оба тест-сигнала включены в состав государственного стандарта (ГОСТ 23555–79).

Часто с целью повышения пропускной способности линий связи сигналы многих источников объединяются в один групповой сигнал. Тот же эффект достигается при высокоскоростной последовательной передаче нескольких сообщений. В последнем случае на приемной и передающей сторонах применяются буферные устройства памяти.

Для передачи сигналов используются разнообразные линии связи: воздушные, кабельные, радио, радиорелейные, волоконно-оптические, волноводные, ультразвуковые (для связи с подводными объектами). Каждому способу передачи сообщений свойственны принципиальные особенности построения трактов передачи, специфические искажения сигналов. Естественно, появляется потребность в оценке искажений и качественных показателей отдельных устройств и систем электросвязи.

Понять принципы работы различных видов электросвязи не очень сложно. Достаточно располагать довольно ограниченным объемом сведений из школьного курса физики. Оценить качественные показатели аппаратуры и систем электросвязи значительно сложнее из-за их разнообразия. Необходимо использовать сотни показателей, и с каждым годом их число возрастает.

С учетом многоплановости решаемых задач специалистам в области электросвязи приходится пользоваться большинством основных и производных единиц физических величин, входящих в Международную систему единиц, а также рядом внесистемных единиц, которые разрешены к применению наравне с единицами СИ. Поэтому содержание этой книги ограничено сведениями о единицах, названных по именам ученых и изобретателей, и единицах, нужных для пояснения последних.

2. ИСТОРИЯ И СОВРЕМЕННОСТЬ

История человечества насчитывает несколько тысяч лет, и на разных этапах развития почти каждый народ использовал какие-то свои условные системы отсчетов. Сейчас Международная система единиц (СИ) для многих стран стала обязательной, а в некоторых используется в качестве факультативной. Система содержит семь основных единиц измерения: секунда — времени, метр — длины, килограмм — массы, ампер — силы электрического тока, кельвин — термодинамической температуры, кандела — силы света и моль — количества вещества. Предусмотрены две дополнительные единицы: радиан — для плоского угла и стерадиан — для телесного угла.

Основные единицы являются взаимонезависимыми, а производные единицы выражаются через основные на основании физических соотношений. Допускается использование ряда привычных внесистемных единиц, например литр, гектар, угловой градус и т. д.

Принцип построения Международной системы единиц на основе нескольких независимых единиц предложил в 1832 г. немецкий ученый К. Гаусс, однако реализации этого принципа пришлось ждать 128 лет, поскольку не было самих единиц.

Как измерялось время? Были сутки, утро, вечер . . . Солнечные и водяные часы, известные уже около трех тысячелетий, — не точные и не всегда работающие устройства. Изобретателем первых маятниковых часов считается голландский математик, астроном и часовых дел мастер Христиан Гюйгенс (1629—1695). Нестабильность хода часов, созданных в 1657 г., составляла несколько десятков секунд в сутки, поэтому ни о какой точности измерений времени не могло быть и речи. А точные часы в XVII в. были очень нужны. В это время широ-

кое развитие получило парусное судоходство, и неточность измерения времени, равная 1 мин, приводила к ошибке в определении местоположения судна в 25 . . . 30 км. Многие тысячи моряков стали жертвами кораблекрушений.

Создать весьма сложные механические хронометры с точностью хода ±0,1 с удалось только к началу текущего века.

В начале XIX в. в развитых странах начали функционировать железные дороги. А как составлять расписание движения? В каждом городе действовало свое местное время, т. е. отсчет начинался в полдень (когда солнце находилось в зените). Курьезов было сколько угодно. Например, пассажир поезда мог выехать сегодня, а приехать на конечную станцию вчера. Ввести в действие первые локальные системы единого времени удалось только с помощью электросвязи. В Великобритании по инициативе королевского астронома Джорджа Эри (1801 – 1892) сигналы единого времени из Гринвичской обсерватории стали передаваться по телеграфной линии Лондон – Дувр с 5 августа 1852 г.

Впервые вопрос о переходе к единому времени с учетом широтного расположения стран возник в 1884 г. на Международной меридианальной конференции в Вашингтоне. После долгих споров победа осталась за Гринвичем. Фактический переход на опорное гринвичское время оказался чрезвычайно длительным – более 100 лет. По имеющимся данным, последней на опорное время Гринвича в 1972 г. перешла Либерия.

В СССР декрет "О введении нового счета времени по международной системе поясов" подписан 8 февраля 1919 г. В. И. Лениным.

Еще один трудный вопрос: когда начинаются сутки? Оказалось, что существовали гражданские, астрономические и морские сутки. Первые начались в полночь, вторые – в полдень, а третьи – по команде. Гражданские сутки предложил в 1804 г. французский астроном, математик и физик П. С. Лаплас (1749–1827). Вопрос об их принятии ставился на многих международных конференциях, но всеобщее признание так хорошо знакомые всем нам сутки получили только в 1925 г. Что же

касается морских суток, то по правилам английского флота вахтенный офицер, посчитав, что солнце находится в зените, докладывал капитану: "Двенадцать часов, сэр". Следовал ответ: "Так держать", — это и было начало суток.

Приведенные примеры показывают, сколь трудным и долгим был путь определения начальной точки отсчета времени — тех самых секунд, которые начали отмерять часы Гюйгенса в 1657 г.

Разработанная шкала времени обозначалась GCT (Greenwich Civil Time) — гринвичское гражданское время. Такое же название имела и ранее применявшаяся в Великобритании астрономическая шкала. Поэтому в 1928 г. по рекомендации Международного астрономического союза новая шкала времени обозначается UT (Universal Time) — универсальное, или всемирное, время. Впоследствии были разработаны различные модификации шкалы UT.

Пора вернуться к секунде. Эта единица измерений определялась исходя из предположения, что период вращения Земли вокруг своей оси постоянен. В действительности скорость вращения несколько изменяется. Выход нашли, выбрав длительность секунды, соответствующую части конкретного, т. е. эфемеридного, года. Новая эфемеридная секунда определяется как 1/31556925,9747 доля тропического года 0 января 1900 г. в 12 ч. эфемеридного времени. Она принята в 1960 г. на XI Генеральной конференции по мерам и весам.

Прочитав предыдущий абзац, внимательный читатель заметит, что день не имел числа. Это не опечатка и не ошибка автора. Здесь проявился нюанс летосчисления астрономов. Всем непосвященным следует читать: полдень 31 декабря 1899 г.

Время летит быстро. Уже в 1967 г. XIII Генеральная конференция по мерам и весам приняла новое определение секунды, полученное при использовании атомного эталона частоты на базе цезия-133. С 1983 г. Государственный эталон времени СССР позволяет воспроизводить секунду с погрешностью $\pm 5 \cdot 10^{-14}$. Такая погрешность, выраженная в более доступ-

ной форме, означает, что атомные часы опоздают или убегут на секунду за 700 тыс. лет. Трудным и длительным оказался процесс создания единицы времени, и он еще не закончен. Требования к точности измерения любых физических параметров постоянно возрастают. Если в начале века погрешность составляла ±0,01 с в сутки, то к настоящему времени эта величина уменьшена в 200 млрд. раз. Существенное достижение!

На примере истории создания эталона времени автор стремился показать всю сложность образования международных единиц физических величин. С канделой и молем читатель в этой книге не встретится, но хотелось бы напомнить краткие сведения о метре и килограмме. Прочие основные единицы рассматриваются в последующих главах.

Мера длины, вероятно, была первой мерой, созданной человеком. К концу XVIII в. их накопилось столько, что великий разнобой стал препятствием на пути развития международной торговли. В 1875 г. в Париже была подписана Международная метрическая конвенция, где отмечалась целесообразность введения метрической системы. Метр, предложенный во Франции в 1791 г. как одна десятимиллионная часть длины парижского меридиана, был официально введен в качестве метрической единицы в 1793 г.

В 1799 г. эталон метра изготовили в виде концевой меры, т. е. в виде линейки из специального сплава с двумя штрихами. Позднее оказалось, что дугу меридиана промерили не очень точно, и в 1889 г. во избежание возможных споров I Генеральная конференция по мерам и весам утвердила международным прототипом метра копию французкого эталона № 6 при 0° С. Повторилась ситуация, возникшая при утверждении эфемеридной секунды.

В 1927 г. определение метра было подтверждено на VII Генеральной конференции по мерам и весам с добавлением требования содержания эталона при нормальном атмосферном давлении.

Действующее определение метра (франц. metre — мера) принято на конференции по мерам и весам в октябре 1983 г. Это расстояние, которое проходит свет в вакууме за 1/299792458 долю секунды. Если с помощью прототипа метра, выполненного из платино-иридиевого сплава, можно было воспроизводить единицу длины с точностью не лучше $2 \cdot 10^{-7}$ м, то при использовании нового эталона точность удалось повысить до $3 \cdot 10^{-8}$ м.

В РСФСР метрическая конвенция была признана в 1918 г., а в 1925 г. она стала иметь силу в СССР. В качестве единой международной меры длины метр пока не утвердился из-за широкого распространения мер, принятых в США и Великобритании.

Единицей массы в 1889 г. на I Генеральной конференции по мерам и весам утвержден килограмм: масса одного литра (1 дм^3) чистой воды при температуре ее наибольшей плотности. Первый эталон массы был выполнен в виде платиновой цилиндрической гири высотой и диаметром 39 мм. Потом оказалось, что прототип выполнен не совсем точно и литр стал не равен 1 дм^3, правда с ошибкой 0,0028 %. Несправедливость устранили на XII Генеральной конференции по мерам и весам в 1964 г. Единица массы получила первоначальную трактовку.

В настоящее время эталон единицы массы считается недостаточно точным и ведутся работы по поиску новых констант масс на основе элементарных частиц.

Электротехникам потребовалось только 80 лет со времени изобретения первого мощного источника энергии — вольтова столба, чтобы осознать необходимость Международной системы единиц, основанной на метрической системе. За основные единицы были приняты сантиметр, грамм, секунда (СГС). Система СГС принята на I Международном конгрессе электриков (1881). В 1918 г. появилась система МТС (метр, тонна, секунда), и в заключение Международная электрическая комиссия в 1950 г. утвердила систему МКСА (метр, килограмм, секунда, ампер). С учетом разновидностей указанных систем их набралось больше десятка. В результате с точки зрения

метрологии сложилась хаосоподобная ситуация. Одни и те же параметры можно было измерить с помощью 20 . . . 30 единиц. Возникла крайняя необходимость в создании единой международной системы единиц физических величин, основанной на метрической системе и пригодной для использования в науке, технике и хозяйственной деятельности человека. Впервые вопрос прозвучал таким образом на IX Генеральной конференции по мерам и весам в 1948 г. Как отмечалось ранее, проект системы СИ был принят в 1960 г.

Срок разработки проекта СИ оказался рекордно коротким. Можно представить, как всем надоела великая путаница с единицами. Была и жестокая экономическая причина. В середине XX в. человечество прочувствовало в полной мере ограниченность природных ресурсов, стало реальностью широкое международное разделение труда.

Эталоны международных единиц хранятся в Международном бюро мер и весов, находящемся в Севре (близ Парижа). Координационная работа среди национальных служб времени возложена на Международное бюро времени, оформившееся окончательно в международный орган в 1920 г. Бюро расположено в Парижской обсерватории. Сигналы точного времени передаются всеми средствами электросвязи.

В СССР метрологическую службу возглавляет Государственный комитет СССР по стандартам (Госстандарт СССР). В его системе 20 научно-исследовательских институтов во главе с флагманом — Всесоюзным ордена Трудового Красного Знамени научно-исследовательским институтом метрологии им. Д. И. Менделеева (ВНИИМ), находящимся в Ленинграде, где и хранятся государственные эталоны единиц измерений. Институт основан в 1931 г. на базе Главной палаты мер и весов, создателем и первым директором которой был известный русский химик и разносторонний ученый Дмитрий Иванович Менделеев (1834—1907). Однако первым государственным собранием эталонов в России было основанное в 1842 г. Депо образцовых мер и весов.

Госстандарт СССР утверждает и издает стандарты на методики измерений, правила выполнения конструкторской документации, конкретные параметры изделий и т. д. В метрологической службе СССР занято 3,5 млн. человек. Столь многочисленная армия работников выполняет большую и важную работу. Ведь ошибочные показания какого-то прибора могут привести к существенным материальным потерям и даже авариям, человеческим жертвам. Чрезвычайные обстоятельства наиболее часто возникают из-за ошибок при оценке каких-либо параметров, из-за отклонений в технологии и т. д., т. е. по причине нарушения каких-то ограничений. Не зря метрологи утверждают, что стандарт — это деньги и немалые. Тексты многих государственных стандартов страны предваряются надписью: "Несоблюдение стандарта преследуется по закону".

Срок действия стандартов ограничен. В существующем положении предусмотрен пересмотр стандартов примерно через каждые пять лет, а если возникнет нужда, то и ранее. О всех изменениях можно узнать в ежегодно издаваемых указателях "Государственные стандарты СССР", которые имеются в библиотеках заинтересованных учреждений и публичных библиотеках с научно-техническим уклоном. К составлению новых или коррекции действующих стандартов привлекаются коллективы многих научно-исследовательских, проектных и производственных организаций. Государственный стандарт (ГОСТ) — плод труда сотен и тысяч людей.

Многие стандарты обозначаются аббревиатурой СТ СЭВ, после которой следует номер стандарта. Это означает, что стандарт является обязательным для всех стран, входящих в организацию Совета Экономической Взаимопомощи.

Во все времена отношение к мерам было серьезным. Весьма любопытен устав новгородского князя Всеволода "О церковных судах и о людях и о мерилах торговли", изданный на заре образования Руси в 1136 г. Там ясно предписывалось " . . . торговыя все весы и мерила блюсти без пакости, ни умаливати, ни умноживати, а всякий год извещивати . . . " Нарушитель мог пострадать вплоть до " . . . предания казни смертию". Молодец князь!

3. ОБОЗНАЧЕНИЕ ЕДИНИЦ СИ. КРАТНЫЕ И ДОЛЬНЫЕ ЕДИНИЦЫ

В СИ принято правило сокращенного обозначения единиц физических величин в виде одной, двух или трех букв. Сокращенные обозначения единиц разрешается применять только после числового обозначения величин, причем если они названы по именам ученых и изобретателей, то запись производится с прописной (заглавной) буквы (например, 50 Гц, 220 В); все остальные пишутся строчными (малыми) буквами (например, 100 м, 20 кг). Единицы обозначаются буквами русского либо латинского алфавита, за исключением греческой омеги Ω — единицы сопротивления. Они приведены рядом с названиями соответствующих глав книги. Смешанные обозначения запрещены. Без числовых значений единицы физических величин обозначаются в тексте полным названием строчными буквами.

Невольно возникает вопрос: когда и какими алфавитами пользоваться? Ответ следует искать в ГОСТах. Обозначение единиц буквами русского алфавита обязательно для применения в технической документации, книгах и справочниках и т. д. Однако если какая-либо продукция может рассматриваться в качестве предмета экспорта, то обязательно использование букв латинского алфавита, т. е. международных обозначений. По указанной причине международные обозначения физических величин наносятся на лицевые панели генераторов стандартных сигналов, вольтметров и прочей измерительной аппаратуры. Их можно встретить и на шкалах радиоприемников.

Диапазоны изменения параметров деталей, устройств и систем на практике могут быть весьма значительны, и тем более существенно могут различаться параметры объектов различ-

ного назначения. Потребовались кратные единицы физических величин (больше исходной) и дольные — (меньше исходной). До принятия СИ их существовало великое множество. Наиболее часто встречалась кратность деления или умножения на 2, 3, 4, 12, 16, 60. Вполне естественно, что в практической метрологии возникали определенные трудности. Они в значительной степени не преодолены до настоящего времени.

Стоит, например, задуматься над вопросом: почему скорость протяжки ленты в магнитофонах выбрана равной 19; 9,5; 4,75; 2,4 см/с? Это округленные цифры. Следует читать: $7\frac{1}{2}$; $3\frac{3}{4}$; $1\frac{7}{8}$; $1\frac{5}{16}$ дюйм/с. В дюймах измеряется ширина пленки, размеры комплектующих деталей и т. д. Можно привести массу других примеров. Многие параметры различных изделий приняты в качестве международных стандартов. Изменить их в обозримом будущем не представляется возможным.

Переход от одних единиц физических величин к другим связан с колоссальными финансовыми издержками, необходимостью переработки массы технической документации, организационными трудностями. Вот одна из историй с почти трагическим финалом. В 1983 г. из Канады в США летел пассажирский самолет Боинг-727. Внезапно отказали оба двигателя. Гибель пассажиров и экипажа была бы неизбежной, не попадись прямо по глиссаде (в данном случае по траектории, близкой к неуправляемому падению) старый заброшенный аэродром. Повезло, да еще как! Путешественники отделались синяками и шишками. Виноваты оказались пилоты. При заправке керосином они не обратили внимания на то, что шкала контрольного прибора проградуирована в литрах, а не в привычных галлонах (1 гал ≈ 3,8 л). Взяв почти в 4 раза меньше горючего, чем требовалось, экипаж предрешил судьбу рейса.

Десятичные кратные и дольные единицы физических величин стали в законодательном порядке вводиться во Франции с 1793 г. Теперь все страны мира, преодолевая естественные трудности, переходят к применению удобного способа масштабирования единиц. Постепенно к ним стали добавлять приставки — слова разного языкового происхождения и имеющие

Таблица 1

Множитель	Приставка			Языковое происхождение
	Наименование	Обозначение		
		русское	международное	
10^{18}	Экса	Э	E	Греческий
10^{15}	Пета	П	P	—"—
10^{12}	Тера	Т	T	—"—
10^{9}	Гига	Г	G	—"—
10^{6}	Мега	М	M	—"—
10^{3}	Кило	к	k	—"—
10^{2}	Гекто	г	h	—"—
10^{1}	Дека	да	da	—"—
10^{-1}	Деци	д	d	Латинский
10^{-2}	Санти	с	c	—"—
10^{-3}	Милли	м	m	—"—
10^{-6}	Микро	мк	μ	—"—
10^{-9}	Нано	н	n	—"—
10^{-12}	Пико	п	p	Итальянский
10^{-15}	Фемто	ф	f	Датский
10^{-18}	Атто	а	a	—"—

смысл множителя к числу 10. Последние наименования приставок "пета" и "экса" утверждены XV Генеральной конференцией по мерам и весам в 1975 г. Перечень множителей и приставок сведен в табл. 1.

Значительная часть приставок активно используется специалистами, работающими в области электросвязи и электроники. В этом легко убедиться, обратившись к рис. 1, где ориентировочно отмечены диапазоны изменения физических величин, с которыми приходится часто встречаться на практике. Вот несколько примеров.

Интегральные микросхемы находят повсеместное применение. Изготовляются они на пластинках кремния площадью от одного до нескольких сотен квадратных миллиметров методом фотолитографии. Этот метод во многом сходен с контакт-

Метр (м)
Килограмм (кг)
Секунда (с)
Ньютон (Н)
Паскаль (Па)
Градус Цельсия (°C)
Вольт (В)
Ампер (А)
Кулон (Кл)

Множитель 10^{-18} 10^{-16} 10^{-14} 10^{-12} 10^{-10} 10^{-8} 10^{-6} 10^{-4} 10^{-2} 1 10^{2} 10^{4} 10^{6} 10^{8} 10^{10} 10^{12} 10^{14} 10^{16} 10^{18}

Ом (Ом)
Ватт (Вт)
Генри (Гн)
Фарад (Ф)
Герц (Гц)
Бел (Б)
Бод (Бод)
Бит/с (бит/с)
Эрланг (Эрл)

Рис. 1. Ориентировочные диапазоны изменения физических величин, с которыми наиболее часто приходится встречаться специалистам в области электросвязи и электроники

ной печатью фотографий. На покрытую фоточувствительным слоем (фоторезистом) пластинку кремния накладывается маска с контуром части микросхемы. Экспонирование происходит в ультрафиолетовом свете. Затем производится травление пластинки и прочие технологические операции. Ультрафиолетовая засветка выбрана для того, чтобы избежать дифракционных явлений, поскольку линейные размеры элементов схемы измеряются единицами микрометров.

Степень интеграции микросхем постоянно повышается. С середины 80-х гг. выпускаются микросхемы, где линейные размеры элементов составляют 0,5 мкм. Для экспонирования стали использовать мягкое рентгеновское излучение с длиной волны около 100 нм, т. е. 10^{-7} м. Частота и период электромагнитных волн соответственно $3 \cdot 10^{15}$ Гц и $3{,}3 \cdot 10^{-14}$ с. Гарантийное время безотказной работы современной высоконадежной аппаратуры достигает 10 . . . 15 лет или $4{,}7 \cdot 10^{8}$ с.

Минимальная масса, которую приходится учитывать, — масса электрона. Она составляет $9 \cdot 10^{-31}$ кг. Надлежащей приставки к основной единице пока еще не придумали. Масса и заряд — основные параметры электрона, которые нужно использовать при конструировании электронных ламп, кинескопов, передающих телевизионных трубок и т. д.

Сведения о других единицах физических величин предлагаются в следующих разделах книги.

В популярной литературе некоторые авторы, стремясь подчеркнуть масштабность чего-то, пользуются собственными наименованиями чисел. Вот их перечень в пределах рассмотренной ранее шкалы:

10^{6} — миллион; 10^{9} — миллиард; 10^{12} — триллион;
10^{15} — квадриллион; 10^{18} — квинтиллион.

Кончается список вигинтиллионом (10^{63}) и гуголом (10^{100}). Остается сделать маленькое уточнение. В разных странах одинаковым наименованиям соответствуют разные множители, которые могут отличаться на десятки порядков.

Хочется закончить главу призывом: пользуйтесь системой единиц СИ! Это закон.





4. НЬЮТОН

С силой в прямом и переносном смысле всегда следует считаться во избежание всяких неприятностей. Условия эксплуатации аппаратуры связи и различных сооружений связи многообразны. Механические воздействия на их отдельные узлы и аппаратуру в целом приводят к изменению параметров или даже к полному разрушению.

Воздушные линии связи начали строиться сразу после изобретения в 1837 г. англичанами Вильямом Куком и Чарльзом Уитстоном первой далеко не совершенной, но работоспособной системы электромагнитного телеграфа. В глобальных масштабах к строительству воздушных проводных линий приступили в 1844 г., т. е. после демонстрации американцем Самуэлем Морзе принципиально нового быстродействующего телеграфного аппарата. Провода частенько обрывались при прокладке или позже из-за усталости металла в результате постоянной ветровой раскачки.

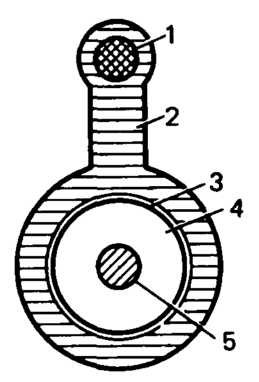


Рис. 2. Конструкция подвесного коаксиального кабеля

В настоящее время проводные воздушные линии связи не строятся. Они малонадежны и обладают низкой пропускной способностью. Вся система многоканальной связи создается на базе использования кабелей (например, аналогичных тем, какие применяются для подсоединения антенны к телевизорам). Кабели могут подвешиваться на опорах или закапываться в землю. На рис. 2 показана упрощенная конструкция коаксиального кабеля для воздушной подвески (в разрезе). Несущей частью конструкции служит многожильный стальной

трос *1*. Полиэтиленовая оболочка *2* — внешняя защита троса и коаксиального кабеля; *3* — внешний проводник из медной ленты; *4* — изоляция из пористого полиэтилена; *5* — медный внутренний проводник. Разрывное усилие каната не менее 15 000 Н, а натяжение при подвеске на опоры не превышает 1400 Н и постоянно контролируется. Запас прочности получается солидный.

Особенно опасны обрывы подводных кабелей на больших глубинах. Их подъем и восстановление — весьма дорогостоящее мероприятие. Отчасти по этой причине в середине прошлого века прокладка трансатлантического кабеля между Европой и Северной Америкой растянулась почти на 10 лет.

Ньютон, как известно, — единица силы, сообщающей телу массой 1 кг ускорение 1 м/с^2. На практике она контролируется с помощью рычажных весов и эталонов масс. Сила равна произведению массы на ускорение, т. е. $F = ma$. Масса — величина постоянная, поэтому сила полностью определяется ускорением. Ускорение часто выражают в величинах, кратных ускорению свободного падения: $g \approx 9{,}8$ м/с^2. В справочниках так и пишут: какое-либо устройство или комплектующая деталь выдерживает ускорение в столько-то g при определенных условиях (удар, вибрация и т. д.). Например, постоянные резисторы выдерживают ускорения до 8 . . . 1000 g, переменные — до 5 . . . 20 g, полупроводниковые диоды — до 10 . . . . . . 75 g.

Существуют специальные методики испытаний радиоэлектронной аппаратуры (РЭА), разработаны системы амортизации. На случай повреждения аппаратуры, например, в процессе транспортировки разработана следующая методика испытаний. Готовое изделие в транспортной упаковке сбрасывают с определенной высоты на бетонный пол. Работоспособность должна сохраниться.

Неприятные последствия возникают и в том случае, когда сила тяжести отсутствует, что имеет место на ИСЗ и орбитальных космических летательных аппаратах. Воздух теряет вес, прекращается конвекционный теплообмен, тепловыделяющие

приборы (транзисторы, резисторы и др.) перегреваются и выходят из строя. Приходится создавать системы принудительной вентиляции.

Таким образом, при проектировании и эксплуатации аппаратуры электросвязи всегда необходимо учитывать различные силовые воздействия или их отсутствие. От этого во многом будет зависеть ее работоспособность.

Единица силы получила название в честь английского ученого, основателя классической механики, математика, заложившего основы дифференциального и интегрального исчислений, Исаака Ньютона. Единица рекомендована к применению в 1913 г. V Генеральной конференцией по мерам и весам по предложению Международного объединения холода.

Исаак Ньютон родился в семье мелкого английского землевладельца 4 января 1643 г. Отец умер до рождения сына. Воспитывался у прабабки, учился в сельской школе, а с 1655 по 1658 гг. продолжал образование в школе небольшого городка Грантем, где получил хорошую подготовку по богословским предметам, начальные сведения по арифметике и геометрии, овладел латынью, греческим и древнееврейским языками, познакомился с немецким и французским. Таков был стандартный набор дисциплин в английской школе середины XVII в., которые доводились до сознания учеников зачастую с применением плеток, палок и прочих достаточно ощутимых орудий наказания. Побои и в настоящее время практикуются английскими учителями.

Три года после школы юноша помогал матери вести хозяйство и продолжал самостоятельно изучать математику. В 1661 г. по совету дяди-священника восемнадцатилетний Ньютон поступил в колледж Святой Троицы (Тринити-колледж) Кембриджского университета. Там он продолжил изучение богословия и древних языков, серьезно занялся математикой, физикой, астрономией. Курс обучения закончился в 1665 г., после чего, спасаясь от эпидемии чумы, молодой бакалавр отправился в родную деревню Вулсторп, находившуюся в 200 км к северу от Лондона.

В деревне Ньютон написал пять статей, в которых изложил новый математический метод — исчисление функций, рассмотрел разложение света на составляющие спектра, три закона механики и закон всемирного тяготения. Эти статьи и материалы последующих работ ученого не публиковались длительное время. Из-за этого у Ньютона возникли споры с рядом известных ученых по поводу приоритета в отношении некоторых открытий, вылившиеся в открытые взаимные обвинения.

По возвращении из деревни в 1667 г. молодой ученый начинает преподавательскую деятельность в Тринити-колледже. Через два года он получает кафедру своего учителя, а еще через год становится профессором Кембриджского университета.

Постепенно приходит признание. В 1672 г. Ньютон избирается членом Лондонского королевского общества. Однако приоритетные споры не прекращаются. Он с горечью пишет в частном письме: "...я убедился, что либо не следует сообщать ничего нового, либо придется тратить все силы на защиту своего открытия".

Только спустя 25 лет после выполнения основных работ Ньютон в 1687 г. опубликовал книгу "Математические начала натуральной философии".

Всем хорошо знакомы три закона классической ньютоновской механики и закон всемирного тяготения, которые частично упоминались в начале этой главы. О них есть сведения во всех учебниках физики. Поэтому автор не рискует утомлять читателя дополнительным пересказом известных истин. Хотелось бы привести только последнюю фразу из предисловия к книге и ньютоновские правила умозаключений в физике.

"Я усерднейше прошу о том, чтобы все здесь изложенное читалось с благосклонностью и чтобы недостатки в столь трудном предмете не осуждались бы, а дополнялись новыми трудами и исследованиями читателей" (08.05.1686).

Правило I. Не должно принимать в природе иных причин сверх тех, которые истинны и достаточны для объяснения явлений.

Правило II. (Распространяет правило I на объекты живой и неживой природы, свет — М. С.)

Правило III. Такие свойства тел, которые не могут быть ни усиляемы, ни ослабляемы и которые оказываются присущи всем телам, над которыми возможно производить испытания, должны быть почитаемы за свойства тел вообще (т. е. за законы — М. С.) .

Правило IV. В опытной физике предложения, выведенные из свершившихся явлений с помощью наведения (путем размышлений, умозаключений — М. С.) , несмотря на возможность противных им предложений, должны быть почитаемы за верные либо в точности, либо приближенно, пока не обнаружатся такие явления, которыми они еще более уточнятся или же окажутся подверженными исключениям".

Думается, что последнюю фразу из предисловия с чистым сердцем может предпослать изданию своих трудов любой современный ученый и всегда будет прав: наши знания всегда относительны, а ошибки, к сожалению, случаются.

Содержание "Начал" свидетельствует о том, что они написаны зрелым ученым с материалистическим мировоззрением. Все выводы должны базироваться на неоспоримых фактах, существенные связи между явлениями в природе — закономерны, гипотеза — обычный способ научного познания мира, по мере поступления новых сведений об окружающем нас мире наши представления постоянно будут уточняться — вот перечень положений, изложенных ученым и записанных с использованием современной терминологии.

Отзыв президента АН СССР академика С. И. Вавилова: "В истории естествознания не было события более крупного, чем появление "Начал" Ньютона".

Мнение самого Ньютона: "Не знаю, чем я могу казаться миру, но сам себе я кажусь только мальчиком, играющим на морском берегу, развлекающимся тем, что до поры до времени отыскиваю камешек более цветистый, чем обыкновенно, или красивую раковину, в то время как великий океан истины расстилается передо мною неисследованным".

Комментарии, как говорится, излишни.

В XVII в. английская буржуазия одерживала одну победу за другой, добиваясь торжества принципа "закон выше короля", который активно поддерживал Ньютон. Два года – с 1688 по 1690 – он являлся членом Парламента. С 1696 г. начался лондонский период жизни ученого после того, как его друг – канцлер казначейства назначил Ньютона хранителем, а позднее и директором Монетного двора.

Научная, политическая и организаторская деятельность ученого получает все более высокую оценку. В 1703 г. он избран президентом Лондонского королевского общества, а двумя годами позже королева Анна возвела его в рыцарское достоинство.

На протяжении жизни интересы сэра Исаака Ньютона были весьма разнообразны. Много занимался математикой, известны работы по химии, предложил свою температурную шкалу, которая не нашла применения, трудился на поприще алхимии, пытаясь получить золото, некоторое время проводил опыты с электростатическим электричеством, но существенных результатов не достиг.

Последний крупный труд "Оптика" вышел в 1704 г., где обобщены работы за 40 лет жизни, хотя и не все. В предисловии к работе указывается: "Все законы преломления и сложения цветов проверены экспериментально. Некоторые работы нуждаются в проверке и поэтому не публикуются". Ниже следует небольшой рассказ об использовании работ Ньютона в технике электросвязи.

Сам факт, что при прохождении солнечного света через призмы, подвески люстр, граненые изделия из хрусталя появляются цветные пятна, был известен задолго до начала исследований Ньютона в области оптики. Экспериментатор начал работу с приобретения готовых призм в 1666 г. Опытов было много и весьма сложных. Они достаточно полно описаны в популярной литературе. Важно отметить, что Ньютон первым сделал вывод: солнечный или, иначе говоря, белый свет состоит из различных по цвету лучей, которые по-разному преломляются оптическими приборами.

Теперь о природе света известно гораздо больше и термин "свет" определяется как видимая часть спектра электромагнитных излучений с длиной волн от 380 до 780 нм. Если видимую часть спектра можно разделить на отдельные спектральные составляющие, то, смешав их вместе, естественно, можно восстановить в зрительном аппарате человека первоначальное ощущение исходного светового потока. Указанное свойство использовано при разработке всех систем передачи цветных изображений средствами электросвязи, т. е. систем передачи цветных факсимильных изображений (или цветных фототелеграмм, хотя данный термин устарел и запрещен к применению ГОСТом, но еще часто встречается), а также вещательных и прикладных телевизионных систем.

В технике электросвязи используется модифицированное изобретение Ньютона, относящееся к 1668 г. Это хорошо всем известный телескоп-рефлектор, который схематично изображен на рис. 3, *а*. Свет от объекта наблюдения попадает на собирающее вогнутое зеркало *З1* и затем после отражения от вспомогательного зеркала *З2*, расположенного под углом 45° к оси телескопа, направляется в глаз наблюдателя *Н*. Не останавливаясь на достоинствах указанной конструкции, заметим, что ее легко превратить в проектор, если в фокусе зеркала *З1* поместить источник световой информации — проекционный кинескоп с большой яркостью свечения экрана (рис. 3, *б*).

Для улучшения оптических характеристик проектор дополнен менисковой (рассеивающей) линзой *Л*, которую в 1941 г. независимо друг от друга предложили известный советский

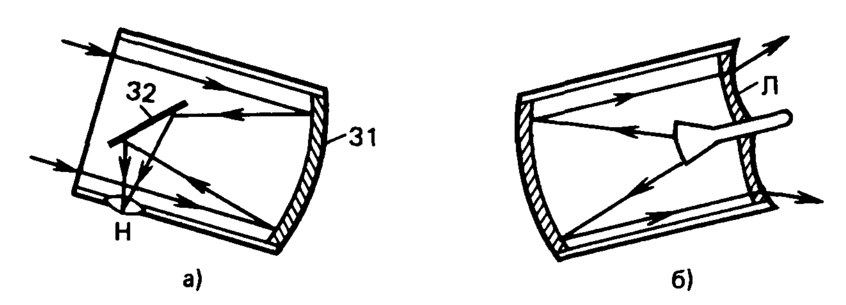


Рис. 3. Телескоп Ньютона и телевизионный проектор

ученый, член-корреспондент АН СССР Д. К. Максутов (1896–1964) и известный венгерский физик и изобретатель, член ряда академий Д. Габор (1900 – 1979).

Вернемся к рис. 3, *б*. Оказывается, воспроизводящий узел цветной установки реализуется очень просто. Достаточно поставить перед киноэкраном три проектора с кинескопами, светящимися красным, синим и зеленым светом, и совместить их изображения. Такую конструкцию имеют простейшие телевизионные проекторы, которые позволяют получать изображения площадью в несколько квадратных метров. Они используются в основном в прикладных установках и в залах для коллективного просмотра программ, передаваемых по сетям кабельного телевидения.

Ньютон жил замкнуто, своей семьи не создал, имел мало друзей,в последний период жизни часто ссорился с коллегами. Замкнутость и нежелание публиковать вовремя свои работы во многом повредили ему. Тем не менее заслуги ученого столь велики, что все годы жизни в Лондоне он пользовался непререкаемым авторитетом. Пришел и материальный достаток.

На закате жизни сказалась полученная в юности фундаментальная в полном смысле этого слова богословская подготовка. Ученый стал писать религиозные сочинения. Умер Ньютон 31 марта 1727 г. Погребение состоялось в английском национальном пантеоне — Вестминстерском аббатстве (Лондон), где покоятся короли и видные государственные деятели. Соотечественники великого ученого на памятнике в Кембридже начертали слова: "Разумом он превосходил род человеческий".

Заслуги Ньютона признаны во всем мире. Еще в 1699 г. он был избран иностранным членом Парижской академии наук. Позднее его именем названа гора на острове Западный Шпицберген, город в США (шт. Массачусетс) и пригород Бостона.

Заканчивая раздел о Исааке Ньютоне, нельзя не вспомнить кочующий из книги в книгу анекдот о том, что озарение у Ньютона наступило после падения ему на голову яблока в деревенском саду. Что ж, остается пожелать: пусть на голову каждого падают такие яблоки и почаще!



5. ПАСКАЛЬ



Известный советский журналист В. Песков, освещая путешествие своего коллеги через нашу страну в 1980 г. накануне XXII летней Олимпиады в Москве, сообщил о забавной путевой встрече. В одной из деревень представитель прессы поинтересовался здоровьем старика. Тот ответил, что не жаловался до последнего времени, а вот после того, как давление начали измерять в гектопаскалях, у него стала побаливать поясница.

Вероятно, правильно оценив нанесенный "ущерб", информаторы Гидрометеоцентра (разумеется, временно) вновь стали пользоваться старыми, хорошо знакомыми, но запрещенными к применению требованиями СИ и ГОСТа миллиметрами ртутного столба. Не менее оригинально поступили редакции некоторых газет. В прогнозах погоды сведения о давлении исчезли, или оно указывается в прежних единицах.

В чем причина? Только в наших привычках, в инертности нашего сознания. Совсем недавно урожай измерялся в пудах, да и теперь это слово изредка проскальзывает в газетных отчетах. В быту придется от миллиметров ртутного столба отвыкать постепенно, а в технической документации эта единица уже не применяется.

Паскаль — единица молодая. Во Франции она принята в 1961 г. и в 1971 г. признана в качестве международной XIV Генеральной конференцией по мерам и весам. Вполне понятно, что на пути ее внедрения в практику встретились естественные трудности, поскольку миллионы находящихся в эксплуатации барометров проградуированы в миллиметрах ртутного столба. По определению: паскаль — давление, вызываемое

силой 1 Н, равномерно распределенной по поверхности 1 $м^2$, т. е. $p = F/S$, где F — сила и S — площадь.

На первый взгляд особое внимание давлению надо уделять в различных механических устройствах и сооружениях. Оказывается, однако, что в технике электросвязи необходимо не только создавать прочные конструктивные элементы, но и строго соблюдать правила их технической эксплуатации. Каждое комплектующее изделие — конденсатор, резистор, транзистор и т. д. — может нормально функционировать только в определенном диапазоне давления окружающей среды. Соответствующие нормы существуют и для специализированных комплектов связной аппаратуры: приемников, передатчиков, усилительных пунктов кабельной связи и др.

Для выяснения условий работы аппаратуры связи следует вспомнить, что она устанавливается на космических аппаратах и опускается вместе с трансокеанскими кабелями на глубины до 6 км. Таким образом, работоспособность различной аппаратуры должна обеспечиваться в пределах 0 . . . 60 МПа. Функционирующую в столь широком диапазоне давлений аппаратуру приходится защищать специальными боксами или оболочками.

В чем же заключается опасность воздействия высоких и низких давлений окружающей среды на компоненты электронной аппаратуры?

Вполне естественно, что под воздействием высокого давления подлежат физическому уничтожению электровакуумные приборы, которые разлетаются на куски подобно прочным корпусам подводных лодок, погрузившихся ниже расчетной отметки. В прочие детали под давлением через микроскопические отверстия в защитных покрытиях нагнетаются пыль, различные агрессивные примеси и т. д. Возможна деформация изделий.

Низкие давления окружающей среды не менее опасны. Прежде всего из-за ее пониженной плотности ухудшается отвод тепла от усилительных приборов, резисторов и других токопроводящих элементов, которые необратимо теряют

работоспособность. Отсасывание остатков воздуха из изделий приводит к разрушению защитных покрытий, снижению механической прочности. Теряют эластичность материалы органического и неорганического происхождения, используемые в соединительных проводах и кабелях. Из-за испарения смазочных масел выходят из строя переменные резисторы, конденсаторы и другие детали и механизмы. В условиях глубокого вакуума (менее $1{,}3 \cdot 10^{-6}$ Па) начинается сублимация (переход твердого вещества в газообразное, минуя жидкое состояние), происходят процессы диффузионной спайки различных материалов.

Ниже в качестве иллюстрации приводится табл. 2, где указан усредненный диапазон рабочих давлений (в гектопаскалях) для элементной базы радиоэлектронной аппаратуры широкого применения.

Таблица 2

Элемент	$p_{мин}$, гПа	$p_{макс}$, гПа
Резистор	0,1 . . . 1,3	2000 . . . 2900
Конденсатор	1,3 . . . 80	1000 . . . 2900
Кинескоп	520 . . . 650	1500 . . . 2900
Электронная лампа	6,5	2900
Транзистор	6,5 . . . 260	2900
Трансформатор	6,5 . . . 620	1050 . . . 2900
Переключатель	6,5 . . . 860	1060 . . . 2900

Нормальным атмосферным давлением считается 1013 гПа (760 мм рт. ст.). Как следует из таблицы, есть детали, которые работают в широком диапазоне давлений, а есть и такие (некоторые трансформаторы), работоспособность которых гарантируется практически только при нормальном атмосферном давлении. Детали специального назначения обычно работают в диапазоне давлений $1{,}3 \cdot 10^{-6}$ . . . 2900 гПа.

На рис. 4 приведены графики изменения атмосферного давления, начиная от отметки уровня моря до предельных высот, на которые могут подниматься самолеты. Оказывается, что

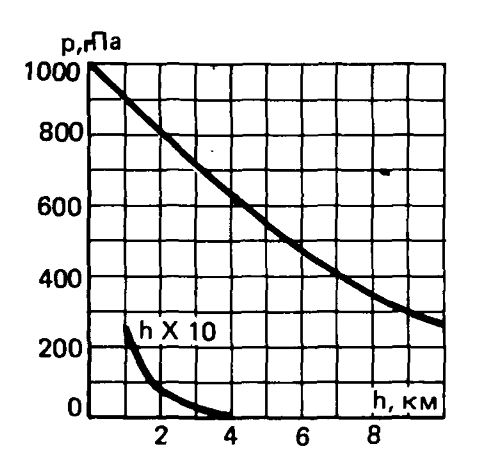


Рис. 4. Графики распределения атмосферного давления по высоте

значительная часть РЭА пригодна только для эксплуатации в наиболее обжитых человеком зонах, т. е. до высоты 3 . . . 4 тыс. м. Альпинистам-высотникам (высочайшая вершина мира Эверест, или Джомолунгма, поднимается до 8848 м) уже нужно обращать серьезное внимание на условия эксплуатации радиоаппаратуры. Электронная аппаратура самого различного назначения для авиалайнеров обязательно должна конструироваться с учетом применения специальных комплектующих изделий. И, наконец, искусственные спутники Земли и космические летательные аппараты функционируют в условиях глубокого вакуума. Давление, например, на высоте 500 км составляет $1,5 \cdot 10^{-9}$ гПа, а на высоте 1000 км $4 \cdot 10^{-11}$ гПа. При изготовлении РЭА космического назначения приходится использовать весь арсенал защитных мероприятий, включая создание прочных герметичных капсул.

В некоторых случаях электронные приборы работоспособны только при очень низких давлениях. Все электровакуумные приборы, включая электронные лампы, кинескопы, передающие телевизионные трубки и т. д., работают при внутриколбовом давлении не выше $1,3 \cdot 10^{-7}$ гПа. Для создания больших проекционных телевизионных изображений, как, например, в хорошо известном по снимкам в прессе центре управления космическими полетами, используются телепроекторы типа "Эйдофор". Там прибор, в котором формируется изображение, работает в режиме постоянной откачки.

Познакомившись с приведенным выше разделом о паскале, уважаемый читатель вправе упрекнуть автора: все гекто да

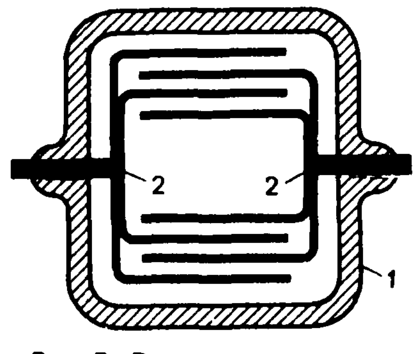


Рис. 5. Вакуумный конденсатор

гекто, а где прочие приставки? Систему СИ надо уважать.

Упрек принят. Международную систему единиц и ГОСТ требуется соблюдать. Хотя принципиальные нарушения допущены не были, но, конечно, целесообразно более гибко пользоваться набором разрешенных приставок. Автор принял форму записи давлений, применяемую в технической документации и технических паспортах изделий. Это опять же косвенный отголосок практики использования миллиметров ртутного столба. Ведь гектопаскаль по размерности близок к прежней единице давления.

В радиопередающей аппаратуре применяются специальные вакуумные высоковольтные конденсаторы. Такой конденсатор в разрезе изображен на рис. 5. В стеклянной колбе *1* монтируются два набора чашек *2*, причем один из них помещается в зазорах второго. Наборы чашек выполняют роль обкладок конденсатора. Вакуумные конденсаторы рассчитаны на напряжения до 100 кВ. Все известные диэлектрические материалы, которые обычно применяются в конденсаторах, пробиваются, если к ним подводится высокочастотный сигнал напряжением в несколько десятков киловольт.

Громкость воспринимаемых слуховым аппаратом человека звуков в известной мере пропорциональна звуковому давлению p, которое связано с атмосферным давлением $p_а$ и мгновенным значением давления звуковой волны $p_м$ простым соотношением $p = p_м - p_а$.

Чувствительность уха неодинакова к звукам разных частот. Поэтому громкость принято оценивать при частоте сигнала 1000 Гц. Оказывается, что порог слышимости наступает при звуковом давлении около 20 мкПа. Эксперты считают, что такие условия имеют место зимой в глубоком лесу при безветренной погоде. Болевой порог соответствует примерно

20 Па. Столь большое звуковое давление создают двигатели взлетающего тяжелого реактивного самолета на расстоянии 100 м.

Чувствительность всех звуковоспроизводящих устройств характеризуется также звуковым давлением, измеренным при определенных условиях. Одним из основных параметров громкоговорителей является среднее стандартное звуковое давление, т. е. давление, развиваемое в направлении оси громкоговорителя на расстоянии 1 м при подведении к нему напряжения, соответствующего электрической мощности 0,1 Вт. Обычно величина стандартного давления бытовых электродинамических громкоговорителей составляет 0,1 . . . 0,3 Па.

Высокие звуковые давления отрицательно сказываются на самочувствии людей, их психическом состоянии. Борьба с различного рода шумами стала одной из острейших проблем нашего суматошного века. Ее принципиальное решение требует больших денежных затрат. Не зря в последнее время дикторы обращаются к телезрителям с просьбой следить за громкостью звукового сопровождения. Берегите уши!

Единица измерения давления паскаль названа в честь французского ученого. Этот человек, одаренный природой гениальностью и проживший весьма короткую жизнь, многое успел сделать в области математики, физики, философии.

Блез Паскаль родился 19 июня 1623 г. в знатной дворянской семье, проживавшей во французском городе Клермон-Ферран. Блез был слабым ребенком и болел всю жизнь. В 1631 г. отец – Этьен Паскаль, потерявший жену, перебрался с детьми в Париж. Старший Паскаль, считавшийся высокообразованным человеком, сам занимался домашним воспитанием сына, который к 12–13 годам путем самостоятельных занятий в области математики превзошел учителя. Талантливый юноша получил доступ на заседания научного кружка францисканского (католический монашеский орден) монаха Марена Марсена.

Кружок Марсена объединял передовых философов, математиков и естествоиспытателей многих стран Европы. Это бы-

ло время, когда из смеси теологии, начал материалистической философии и набора разнообразных, зачастую отрывочных, сведений об окружающем мире стали формироваться научные направления с целью систематизации и объяснения явлений действительности. Обычная форма работы подобных кружков — дискуссии.

В 16 лет юный математик опубликовал свой первый труд "Опыт о конических сечениях", посвященный разработке вопросов проективной геометрии, который получил широкое признание.

В 1640 г. семья была вынуждена перебраться в Руан, после того как старший Паскаль имел неосторожность разгневать первого министра Франции — кардинала Ришелье. Затем он был прощен и в назидание другим отправлен в провинцию интендантом, т. е. сборщиком налогов. Блезу вместе с отцом пришлось заниматься массой всевозможных однообразных и нудных вычислений, которые семнадцатилетнему юноше, надо полагать, быстро надоели. Желания и действительность вошли в противоречие. Согласно одному из основных законов диалектики должно было появиться что-то новое (учитывая талантливость пострадавшего).

В 1642 г. Паскаль изобретает счетную машину, получившую название "паскалево колесо", дорабатывает ее к 1645 г. и в 1649 г. получает на нее королевскую привилегию — своеобразный патент того времени. Машина выполняла четыре арифметических действия. Ее основу составляла система зубчатых колес. При повороте одного из них на полный оборот следующее поворачивалось только на десятую часть оборота. Этот принцип сейчас используется во всех счетчиках, в том числе и в домашних электросчетчиках. Молодой изобретатель организовал производство, рекламу и продажу машины даже за пределами Франции.

Ученик Галилея итальянский физик и математик Эванджелиста Торричелли (1608—1647) открыл существование атмосферного давления (1643) и изобрел ртутный барометр (1644). Паскаль узнал об опытах итальянца в 1646 г. Все его последу-

ющие основные исследования связаны с изучением вопросов гидростатики — раздела гидромеханики, где изучаются условия равновесия жидкости, определяется давление, оказываемое ею на тела и поверхности. Все началось с эксперимента, привлекшего внимание сотен руанцев. Высоченные, установленные вертикально стеклянные трубки заполнялись водой, маслом и красным вином. После герметизации верхнего конца и открытия нижнего, помещенного в бочку, столбы жидкостей опускались до разных отметок между девятью и десятью метрами в зависимости от плотности жидкостей. Чистота проведения эксперимента была довольно высокой, ибо давлению 1013 гПа соответствует давление столба дистиллированной воды высотой 10,3 м. Эксперименты имели большой успех. Надо полагать, что зрители удовольствовались не только зрелищем.

Так повторно было доказано существование атмосферного давления и пустоты над столбом жидкости. В 1648 г. Паскаль провел эксперимент по измерению атмосферного давления на вершине одной из небольших гор и у ее подножия. Оказалось, что с увеличением высоты давление падает, т. е. воздух имеет вес. По сути дела состоялось изобретение альтиметра, или прибора для измерения высоты.

Затем исследователь заметил изменение величины атмосферного давления во времени и констатировал, что его причиной является изменение температуры и влажности воздуха. Вполне естественно напрашивался вывод: барометр можно использовать для прогнозирования погоды.

Жизненные невзгоды оказали серьезное влияние на здоровье и психику Паскаля. После очередного потрясения, вызванного смертью отца в 1651 г., врачи настойчиво советовали забросить научные исследования и заняться светской, салонной жизнью, что и было не без колебаний принято.

Будучи сам из аристократической семьи, Паскаль быстро находит контакт с представителями светского общества, состоящего из герцогов, графов, виконтов и прочих титулованных особ. В то время среди салонных развлечений особым успехом пользовались литературные чтения, танцы, философ-

ские беседы и игра в кости. Один из новых знакомых предложил Паскалю определить число необходимых бросков костей, после чего обязательно выпали бы заданные комбинации.

Указанные задачи, а потом и многие другие, были скоро решены. В результате Паскаль написал ряд работ по арифметике, алгебре, геометрии, теории чисел, теории вероятностей и т. д. Задачка досужего аристократа послужила толчком для выполнения фундаментальных исследований в области математики.

В 1650—1653 гг. продолжались работы по гидростатике. Основными результатами стали два закона. Согласно первому давление на дно или стенки сосуда не зависит от формы сосуда и количества жидкости, а зависит только от высоты столба жидкости. Второй закон получил название закона Паскаля: давление на поверхность жидкости, произведенное внешними силами, передается равномерно во все стороны.

Когда нужно проиллюстрировать действие законов Паскаля, многие авторы приводят в пример гидравлический пресс. Прессы, конечно, используются при производстве РЭА. А вот более часто встречающийся пример. В процессе производства микросхем и других изделий электронной промышленности, а также в процессе эксплуатации ряда устройств РЭА предъявляются очень строгие требования к запыленности, влажности и температуре воздуха. Воздух специально очищается до нужной кондиции и под небольшим избыточным давлением подается в помещение. Дальше работает закон Паскаля применительно к газовой среде. Через все возможные отверстия очищенный воздух выходит из помещения, препятствуя проникновению извне пыли и прочих вредных примесей.

"Трактат о равновесии жидкостей", "Трактат о весе массы воздуха" и многие другие работы по метаматике опубликованы после смерти исследователя. В 1654 г. он отказался публиковать свои работы. Дальше произошел душевный кризис, вызванный общим расстройством здоровья, а может быть и испугом, когда лошади его экипажа упали с моста. В начале 1655 г. Паскаль покинул Париж и поселился в келье католи-

ческого монастыря Пор-Роял, находившегося в 13,5 км от города.

Ученый не стал монахом в полном смысле этого слова. Он усердно молился, писал и публиковал под псевдонимом сочинения на религиозно-философские темы. Затворничество его также было относительно, оно чередовалось с частыми посещениями дома. В 1658 г. Паскаль организует европейский конкурс математиков, в котором сам и побеждает. Однако эта сторона деятельности знаменитого ученого не имеет прямого отношения к содержанию настоящего издания. Любознательный читатель может детально ознакомиться с биографией Паскаля, воспользовавшись замечательной книгой Б. Н. Тарасова.

В конце жизни ослабленный многими болезнями Паскаль не мог передвигаться без посторонней помощи. Последнее его деяние — организация с компаньонами первого вида общественного городского транспорта. С 18 марта 1662 г. по улицам Парижа начали передвигаться омнибусы (многоместные кареты, запряженные лошадьми) с интервалом в 15 минут. Омнибусы, ставшие прообразом современных автобусов, ездили по маршрутам, а проезд в них стоил 5 су (1 су = = 1/20 франка).

18 августа 1662 г. в жестоких мучениях Блез Паскаль умер в Париже.

Освещая творческую деятельность великого ученого, нельзя не отметить его талант инженера и исследователя-экспериментатора. При создании новых машин, механизмов, устройств разработчики много времени уделяют оптимизации их структуры, стремятся предельно упростить конструкцию и т. д. Подобную работу проделал в течение нескольких лет молодой Паскаль во время создания счетной машинки. Оптимизировалась не только конструкция, но даже материалы пар взаимодействующих деталей. Машинка проверялась на работоспособность при перевозке на 250 лье (1155 км).

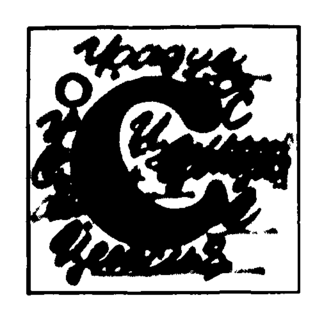
Сейчас готовые изделия, и в том числе РЭА, испытываются на вибростендах. Проводятся и натуральные испытания при

перевозке изделий на определенном виде транспорта на заданное расстояние. Знаменитый француз намного опередил время в создании методики испытаний.

Многие авторы, повествуя о жизнедеятельности Паскаля, обращают внимание на частые периоды повышенной религиозности ученого и объясняют это обстоятельство слабостью здоровья. Да, все так и было. Но нельзя забывать, что жил он в конце средних веков. Вся система образования строилась исключительно на базе монастырей и прочих духовных заведений. Атеистов практически не было, а любое проявление безбожия жестоко каралось церковью вплоть до сожжения. Первая французская газета стала выходить в Париже в 1631 г.

В религиозных взглядах Паскаля много путаницы. Пожалуй, наиболее верно точку зрения Паскаля изложил польский писатель Ришард Собесяк: "Паскаль утверждал, что немногим рискует, поступая в жизни так, как будто бы существует бог; если это лишь выдумка, то и так все кончается с моментом смерти, а если бы оказалось правдой, то можно выиграть всю ставку бессмертия". Не подобная ли мысль руководит современными "верующими"?

Блез Паскаль принадлежит к плеяде самых знаменитых и почитаемых во всем мире людей. Его философские мысли отнюдь не религиозного характера высоко ценили Л. Н. Толстой, И. С. Тургенев, Н. Г. Чернышевский, О. Бальзак, Вольтер, Стендаль и многие другие. Его портрет воспроизведен на французских почтовых марках и ассигнациях. Паскаль — название одного из самых универсальных алгоритмических языков высокого уровня, который нашел широкое практическое применение.





6. ГРАДУС ЦЕЛЬСИЯ, КЕЛЬВИН



Градус в переводе с латинского означает шаг, ступень. Градус — самая распространенная единица измерений. В градусах измеряются температура, плоские углы, географические координаты, цветовая температура нагретых или светящихся тел. Совсем недавно в градусах измерялась концентрация растворов, вязкость жидкостей и т. д.

Все единицы, указанные выше, более или менее часто используются специалистами, работающими в различных областях электросвязи. Однако, например, телефонист никогда не измеряет цветовую температуру, а проектировщику студийной телевизионной аппаратуры вряд ли потребуется измерять географические координаты. Зато температура волнует всех без исключения. Ежедневно нас интересует температура воздуха, иногда по необходимости приходится измерять температуру собственного тела и, конечно, у всех проявляется профессиональный интерес к температурному режиму работы аппаратуры или сооружений. Как известно, температурой характеризуется тепловое состояние достаточно больших тел, систем или, иначе говоря, термодинамическое состояние макроскопических тел, которые условно отделены от окружающей среды и обладают постоянными физическими параметрами.

От правильного соблюдения теплового режима работы самым непосредственным образом зависят качественные параметры и даже работоспособность аппаратуры электросвязи, о чем более подробно сообщается ниже.

Далеко или близко? Тепло или холодно? Все это простые житейские вопросы. Для измерения длины люди очень быстро приспособили "типовые" ноги, руки, пальцы и другие части тела. Неоразумения, конечно, были, но в целом метрическая

система антропологического типа работала многие века. Температуру научились измерять совсем недавно, хотя попытки создания термометров предпринимались с начала текущего тысячилетия.

Только в конце XVII в. стало ясно, что термометр можно сделать на основе использования свойства газов и жидкостей расширяться при повышении температуры. Осталось выбрать оптимальную конструкцию прибора, рабочее вещество и правильно проградуировать его шкалу. В предложениях недостатка не было. Поэтому кратко остановимся лишь на тех, которые привели к успеху.

1703 г. Член Парижской академии Гильом Амотон (1663–1705) предложил градуировать шкалу термометра по двум опорным точкам: температурам таяния льда и кипения воды.

1709 и 1714 гг. Немецкий физик Габриель Даниель Фаренгейт (1686–1736), работавший в Нидерландах, изобрел спиртовой и ртутный термометры в современном исполнении, но не справился с градуировкой.

1730 г. Французский естествоиспытатель Рене Антуан Реомюр (1683–1757) на основе предложения Амотона отметил точку таяния льда на шкале термометра как 0°, а точку кипения воды 80°.

1742 г. Шведский астроном и физик Андерс Цельсий (1701–1744) после двухлетних испытаний термометра Реомюра обнаружил погрешность в градуировке шкалы. Оказалось, что она в большой степени зависит от атмосферного давления. Цельсий предложил оговорить давление при градуировке шкалы и весь температурный диапазон разбил на 100°, но отметку 100° присвоил точке таяния льда. Позднее швед Линней или немец Штрёмер (по разным источникам) поменяли обозначения опорных точек. Так появилась широко применяемая теперь температурная шкала Цельсия. Ее калибровка производилась при нормальном атмосферном давлении 1013,25 гПа.

Температурные шкалы создавались Фаренгейтом, Реомюром, Ньютоном (последний неосторожно выбрал опорной точкой температуру тела человека. Что ж, и великие ошибаются!) и многими другими. Они не выдержали испытания временем.

Температурная шкала Цельсия принята на I Генеральной конференции по мерам и весам в 1889 г. В настоящее время градус Цельсия — официальная единица измерения температуры, установленная Международным комитетом мер и весов, но с некоторыми уточнениями в определении.

Согласно приведенным доводам нетрудно заключить, что температурная шкала Цельсия не является плодом деятельности одного человека. Цельсий был лишь одним из последних участвовавших в ее разработке исследователей и изобретателей. До 1946 г. шкала называлась просто стоградусной. Только тогда Международный комитет мер и весов присвоил градусу стоградусной шкалы наименование "градус Цельсия".

Несколько слов о рабочем теле термометров. Первые создатели приборов естественно стремились расширить их рабочий диапазон. Единственный жидкий металл в обычных условиях — ртуть. Выбирать не приходилось. Температура плавления –38,97° С, температура кипения +357,25° С. Из летучих веществ наиболее доступным оказался винный или этиловый спирт. Температура плавления –114,2° С, температура кипения +78,46° С. Созданные термометры годились для измерения температур от –100 до +300° С, что было достаточно для решения большинства практических задач. Например, минимальная температура воздуха –89,2° С (станция Восток в Антарктиде), а максимальная +59° С (пустыня Сахара). Большинство процессов тепловой обработки водных растворов проходило при температурах, не превышающих 100° С.

Рабочий температурный диапазон электронной аппаратуры значительно шире. Есть приборы, работоспособность которых обеспечивается при их охлаждении жидким азотом или гелием (соответственно температуры кипения –195,8 и –268,93° С). Максимально допустимая температура для большинства деталей обычно не превышает 150° С. Появились новые термометры: газовые, акустические, магнитные, термоэлектрические и др. Принцип их работы основан на использовании изменения физических свойств датчиков в процессе их нагревания или охлаждения.

Аппаратура электросвязи или любая другая электронная аппаратура собирается из многих десятков, сотен и даже тысяч так называемых комплектующих изделий или, проще, деталей. Комплектующие изделия изготовляются из нескольких разных материалов с применением различных технологических приемов. Короче говоря, не будучи включенными в схему, они представляют собой более или менее сложные конструкции.

При изменении температуры отдельные части деталей деформируются по-разному. Усилия при этом возникают большие. Известно, например, что в сильные холода лопались железнодорожные рельсы. Поэтому нарушение электрических контактов, растрескивание защитных покрытий, застывание или вытекание смазки между подвижными деталями — вполне реальные дефекты. В зависимости от типа проводников их сопротивление соответственно увеличивается или уменьшается, меняются физические характеристики диэлектриков и полупроводников. Из-за растрескивания соединительных швов между частями защитных покрытий и в местах вывода токоведущих проводников нарушается герметичность изделий. Создается возможность попадания внутрь влаги и агрессивных соединений. Даже при выпадении росы или "отпотевании" изделий их параметры заметно меняются. Приведем конкретные примеры, которые всегда вызывают больше доверия.

Значительная часть электронной аппаратуры (измерительные приборы, микрокалькуляторы, радиоприемники, приемопередающие станции и т. д.) питается от встроенных источников питания. Гальванические элементы и аккумуляторы в зависимости от типа работоспособны в диапазоне от $-(20\ldots40)$ до $+(40\ldots50)$ °С, причем у нижней границы диапазона они почти неработоспособны.

Электролитические конденсаторы практически перестают работать при температуре ниже −60° С.

Сопротивление резисторов и емкость конденсаторов существенно меняется в рабочем температурном диапазоне. В техническом паспорте на каждое изделие обязательно указывает-

ся значение ТКС или ТКЕ, т. е. температурного коэффициента сопротивления или емкости. Этими коэффициентами обозначается часть номинального значения сопротивления или емкости изделия, на которую оно изменится при изменении температуры на 1° С. Знак коэффициентов может быть положительным и отрицательным, а величина — переменной в рабочем диапазоне. В качестве иллюстрации на рис. 6 приведены графики относительного изменения емкости от температуры. Это, конечно, далеко не лучшие конденсаторы. С помощью графиков проще представить, сколь причудливо меняется емкость и сколь велики отклонения от номинала. Сопротивление резисторов в рабочем температурном диапазоне меняется более монотонно и не превышает ±10 . . . 20 % номинальной величины.

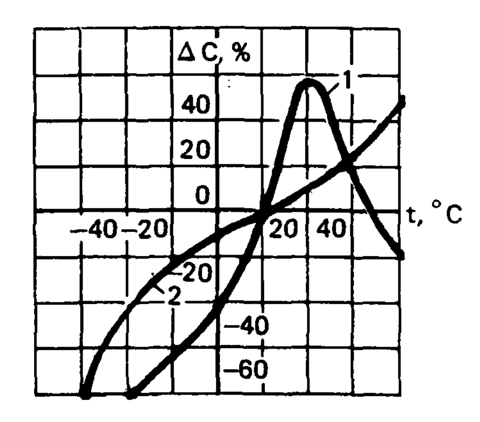


Рис. 6. Графики изменения емкости керамического (кривая *1*) и электролитического (кривая *2*) конденсаторов в зависимости от температуры

Весьма существенно (часто в несколько раз) меняются абсолютно все параметры полупроводниковых приборов.

Многие детали устройств: усилительные приборы, резисторы, трансформаторы и т. д., сами являются тепловыделяющими. Сложился порочный круг. Параметры всех деталей и приборов меняются, но аппаратура должна работать. Ответ известен: нужно вводить строгую регламентацию на условия эксплуатации изделий. В технических данных для каждого изделия обязательно оговаривается допустимая температура окружающей среды. Общее представление о допустимой температуре окружающей среды для элементной базы радиоэлектронной аппаратуры широкого применения можно составить из табл. 3.

Таблица 3

Элемент	$t_{мин}$, °C	$t_{макс}$, °C
Резистор	–60	+125 ... 155
Конденсатор	–10 ... 60	+60 ... 150
Кинескоп	–60	+70 ... 85
Электронная лампа	–60	+100 ... 125
Транзистор	–40 ... 60	+70 ... 125
Трансформатор	–60	+70 ... 85
Переключатель	–5 ... 60	+60 ... 85

Приведенные цифры, однако, не определяют рабочего диапазона электронной аппаратуры. Чем больше элементов она содержит, тем у́же эксплуатационный диапазон. Например, для малой ЭВМ "Электроника 60М" он составляет всего 20±5° С. С температурой шутить нельзя!

В экстремальных условиях полярники часто в первую очередь заботятся о приемлемых условиях для содержания аппаратуры связи и только потом решают прочие вопросы. Для них связь — это жизнь. Без соблюдения строгого теплового режима нельзя эксплуатировать крупные электронные системы, вычислительные центры, точную измерительную аппаратуру, т. е. нельзя решать задачи управления производством, отраслью и т. д.

А вот маленький курьез. Летом 1984 г. группа смелых молодых людей совершила 520-километровый переход по пескам пустыни Каракум с целью познания резервов организма. После успешного финиша они пожаловались, что в жару микрокалькулятор отказывался работать. Все правильно. Надо было посмотреть в технический паспорт. Ведь у микрокалькулятора нет резервов! Он работоспособен в диапазоне +10 ... ... 35° С.

Работающая радиоэлектронная аппаратура, как правило, имеет КПД не более 10 ... 30 %. Оставшаяся часть потребляемой электроэнергии превращается в тепло. Конструкторы, снижая себестоимость и повышая надежность аппаратуры,

стремятся сократить число деталей при обеспечении в нагрузке заданной мощности и тем самым увеличивают тепловыделение на один элемент схемы. Появилось естественное противоречие между стремлением конструкторов и требованиями соблюдения допустимого теплового режима. Возникла проблема обеспечения эффективного отвода тепла от нагревающихся элементов.

Как это сделать? Известно — за счет конвекции, теплопроводности и теплового излучения.

Первым делом начали улучшать условия конвекции. Для обеспечения свободного доступа и отвода воздуха в кожухах аппаратуры стали делать вентиляционные щели. Тепло от транзисторов и интегральных схем, размещенных на печатных платах, за счет теплопроводности и теплового излучения отводится слабо.

Для лучшего отвода тепла транзисторы и интегральные схемы пришлось устанавливать на радиаторы (слово латинского происхождения и в переводе означает "излучатель"). Конструкциям радиаторов нет числа. В простейшем случае они выполняются в виде плоской металлической пластины с хорошими теплопроводными свойствами, к которой плотно прижимается тепловыделяющий элемент. Важно, чтобы площадь радиатора была существенно больше площади поверхности охлаждаемого элемента.

По экономическим соображениям практически все радиаторы выполняются из алюминиевых сплавов и часть из них для улучшения излучательной способности подвергается чернению. Так удается эффективно использовать все три способа отвода тепла. С целью увеличения площади радиаторов в зависимости от конструктивных особенностей аппаратуры их делают ребристыми и иногда весьма причудливой формы.

С помощью радиаторов можно как бы увеличить площадь корпусов тепловыделяющих элементов. Однако указанный прием не всегда приводит к желаемому результату. В таких случаях (и очень часто) в аппаратуру устанавливаются вентиляторы.

Наконец, большие шкафы, содержащие многие десятки функциональных узлов, охлаждаются воздухом со строго заданной температурой и влажностью, для чего используются мощные кондиционеры.

В современной транзисторной аппаратуре используются резисторы, мощность рассеяния которых не превышает нескольких ватт. Воздушного охлаждения вполне хватает. В мощных радиопередатчиках на резисторах рассеиваются сотни ватт. Приходится выполнять резисторы в виде фарфоровых трубок. С внешней стороны на трубки наносится резистивный слой, а внутри прокачивается вода для охлаждения. Водой охлаждаются мощные выходные лампы радиопередатчиков.

Возможность приема слабых сигналов, например, из дальнего космоса ограничивается собственными шумами приемной аппаратуры. Они маскируют сигнал. Столь же трудно получать телевизионные изображения в инфракрасной области спектра, что необходимо для решения многих народнохозяйственных задач. Известно, что мощность собственных шумов приемника прямо пропорциональна его температуре. Вывод один: надо охлаждать входные цепи приемников. До какой температуры? Все зависит от поставленной задачи. Для охлаждения на несколько десятков градусов используют термоэлектрические холодильники. Более низкие температуры удается получить только с помощью криостатов, заполняемых твердой углекислотой, жидкими азотом, водородом, гелием. Устройства получаются достаточно сложными, но другого выхода нет.

Есть еще один способ регулировки температурного режима. Он применяется в тех случаях, когда нет нужды повышать или понижать температуру всего электронного устройства. В аппаратуре электросвязи и измерительной аппаратуре постоянно существует необходимость генерирования сигналов с высокой степенью стабильности частоты. С этой целью в задающих генераторах используют кварцевые резонаторы. Однако и они из-за естественного дрейфа температуры окружающего

воздуха не обеспечивают заданной стабильности. Задачу решили очень просто. Маломощный задающий генератор поместили в бокс с хорошей термоизоляцией, в котором смонтирован электронагревательный элемент и термодатчик, т. е. в термостат. С помощью термодатчика в термостате поддерживается постоянная температура, которая выбирается всегда заведомо большей максимальной температуры воздуха в помещении. Таким образом, удалось добиться постоянства параметров элементов схемы и нужной стабильности частоты генератора.

По мере развития науки и техники растут требования к точности определения единицы измерения температуры, которая, в свою очередь, определяется погрешностью воспроизведения точки кипения воды и точки таяния льда. Суммарная ошибка составляет примерно 0,01° С. Естественно, что ошибку можно уменьшить, если пользоваться только одной достаточно точно определенной опорной точкой. Это и предложил сделать в 1848 г. известный английский физик Уильям Томсон (в то время еще не лорд). За единицу измерения он принял градус Цельсия и поступил очень мудро, поскольку в эксплуатации уже находился громадный парк термометров. Расчетным путем была определена температура, при которой должно прекратиться всякое движение атомов и молекул. Она по уточненным данным составила –273,16° С. Так состоялось определение абсолютного нуля температуры по термодинамической температурной шкале (шкале Кельвина). Более поздние исследования показали, правда, что абсолютный нуль не достижим.

В качестве единственной опорной, или реперной, точки была принята температура тройной точки воды. Как и все вещества, вода может находиться в твердом, жидком и газообразном состоянии. Переход из одного так называемого агрегатного состояния в другое осуществляется скачкообразно в зависимости от температуры вещества и давления, под которым оно находится.

Этим обстоятельством широко пользуются на практике. Например, для повышения КПД тепловых электростанций в

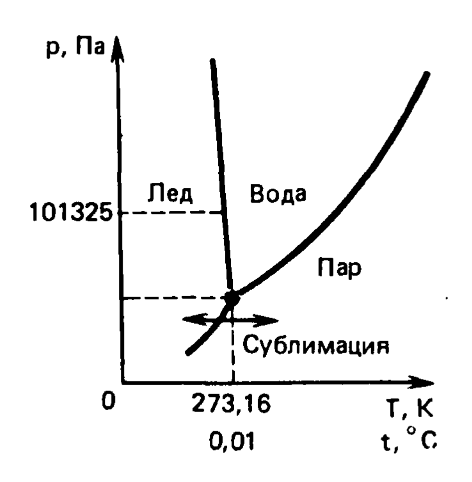


Рис. 7. Термодинамическая диаграмма состояний воды (масштаб по осям не соблюден)

парогенераторных котлах поддерживают высокое давление — вода закипает при температуре значительно выше 100° С. Долгохранящиеся продукты для космонавтов изготовляют методом сублимации. Исходные продукты быстро замораживают и помещают в вакуумную камеру с постоянной откачкой. Лед переходит в пар, минуя жидкую фазу. В результате все питательные вещества сохраняются.

На рис. 7 приведена диаграмма состояний воды. Оказывается, на диаграмме есть тройная точка: все три агрегатных состояния находятся в равновесии. Существуют методы измерений, с помощью которых температура этой точки может быть определена с погрешностью не более 0,0001° С. Точность определения единицы измерения температуры удалось повысить примерно на два порядка. Серьезное и редкое достижение в метрологии.

Термодинамическая температура, отмеряемая от абсолютного нуля, обозначается заглавной буквой T и измеряется в кельвинах (К). Измеряемая по стоградусной шкале температура обозначается малой буквой t. Нулевая отметка по шкале Цельсия с точностью до 0,01° С совпала с температурой тройной точки воды, что вполне приемлемо для практики.

Измерение температуры тройной точки воды — задача технически доволно сложная. Поэтому в качестве репера она была утверждена только в 1954 г. на X Генеральной конференции по мерам и весам. Единица измерения температуры получила название "градус Кельвина", а затем переименована в кельвин на XIII конференции (1967).

Практическая калибровка датчиков температуры осуществляется по реперным точкам Международной практической

температурной шкалы 1968 г. (МПТШ-68). В перечне указаны 38 опорных точек, которые соответствуют температурам плавления, кипения, затвердевания различных химических элементов и соединений в диапазоне 13,81 ... 3600 К или –259,34 ... +3387° С. Чтобы избежать путаницы с отрицательными знаками, рекомендуется температуру до 0° С указывать в кельвинах, а выше — в градусах Цельсия.

Калибровку термометров, выпускаемых в массовом порядке, конечно, по реперным точкам производить нельзя. Для этого существуют нормальные приборы МПТШ-68. Наиболее интересным для специалистов электросвязи является платиновый термометр сопротивления. Датчик температуры выполняется в виде платиновой проволоки сопротивлением 20 ... ... 30 Ом. Его сопротивление замеряется при T = 273,16 К, т. е. R (273,16 К). *Затем замеряется сопротивление датчика в* контролируемой среде R_x. Температура среды рассчитывается по формуле $T_x = R_x/R$ (273,16 К).

Платиновый нормальный термометр сопротивления рекомендован для области температур от 13,81 К до 630,74° С.

Уильям Томсон родился в столице Северной Ирландии — Белфасте 26 июня 1824 г. Его отец, шотландец, после смерти жены в 1830 г. перебрался с двумя сыновьями в Глазго, где занял должность профессора математики в местном университете. Дети получили прекрасное домашнее образование. В возрасте 8 лет Уильям начал посещать лекции отца, а в 10 лет был зачислен слушателем университета. Будучи состоятельным человеком, отец много путешествовал с сыновьями. К 12 годам Уильям владел четырьмя или пятью языками. Совершенствование знаний в области математики продолжалось в Кембриджском университете (1841—1845). Пятнадцатилетний студент начал публиковать собственные работы. Рано проявив математические способности, Томсон стал великолепным математиком и одновременно хорошо ознакомился с современным состоянием физики.

Достигнутые результаты не связаны с какими-либо ограничениями в личной жизни, затворничеством и т. д. Томсон, в

отличие от многих знаменитых ученых, не знал нужды всю жизнь, был весел, общителен, много путешествовал и старался не ограничивать себя ни в чем. Успех сопутствовал ему.

Свое искусство экспериментатора Томсон за несколько месяцев отшлифовал в лаборатории известного французского физика, члена Парижской академии наук Анри Виктора Реньо (1810–1878), занимавшего тогда должность профессора Коллеж де Франс. Томсон очень высоко ценил полученные навыки.

Учеба закончилась, и тут же освободилась должность заведующего кафедрой физики университета в Глазго, на которую в 1846 г. избрали 22-летнего Уильяма Томсона. Профессорскую работу ученый закончил в почтенном возрасте — 1 октября 1889 г., но научной работой занимался до конца жизни. Университет отметил заслуги Томсона, избрав его в 1904 г. президентом.

Научные интересы Томсона весьма разнообразны. Много времени он уделял решению инженерных задач. Достаточно отметить, что ученый занимался вопросами математики, термодинамики, электротехники, связи, газо- и гидродинамики, астро- и геофизики. Всего им написано более 650 трактатов, мемуаров и т. д. В этой короткой биографической справке основное внимание обращается на труды ученого в области электросвязи.

Труды по электростатике, электричеству и магнетизму стали выходить с 1845 г. С началом преподавательской деятельности Томсону пришлось заняться постановкой демонстрационных экспериментов, а с приобретением опыта он стал проводить экспериментальные проверки собственных теоретических изысканий. Результаты теоретических и экспериментальных работ часто обсуждались с такими крупными учеными, как М. Фарадей и Д. Максвелл.

Первых наиболее существенных практических результатов Томсон достиг в процессе участия в строительстве трансатлантической телеграфной линии.

Период расцвета капитализма в странах Европы и Северной Америки приходится на середину прошлого века. Основной

критерий капиталистического способа производства — прибыль. Вот тогда-то и появился известный лозунг: "Время — деньги!" В течение нескольких лет после изобретения телеграфа Морзе (1844 г.) указанные континенты покрылись густой сетью телеграфных линий, а вот рынки сбыта и источники сырья на других континентах оказались вне досягаемости средств связи. Непорядок! Движимые жаждой наживы, предприимчивые дельцы приступили к выполнению крайне рискованного плана: строительству телеграфной линии между США и Западной Европой через Аляску, Берингов пролив и Сибирь. Предприятие лопнуло в самом начале: заработала трансатлантическая телеграфная линия, и в этом событии во многом "виноват" У. Томсон.

Первая попытка прокладки трансатлантического кабеля в 1857 г. закончилась неудачей — оборвался кабель. Томсон сразу начал исследовать его параметры, дал рекомендации по улучшению конструкции. Несколько ранее (1856) он доказал, что скорость распространения сигнала в кабеле обратно пропорциональна его сопротивлению и электрической емкости. В 1858 г. для регистрации слабых телеграфных сигналов ученый изобретает зеркальный гальванометр, на который девятью годами позже получает патент. Томсон сам принимает участие в прокладке второго трансатлантического кабеля, находясь на "Грейт Истерн" — крупнейшем судне того времени (1865). Позже им было изобретено устройство для автоматической записи телеграмм, получившее название сифон-рекордер. Впервые Томсон начал заниматься вопросами электросвязи в 1856 г., войдя в состав научных сотрудников "Атлантической телеграфной компании", и продолжал заниматься вопросами телеграфии, а затем и телефонии всю жизнь.

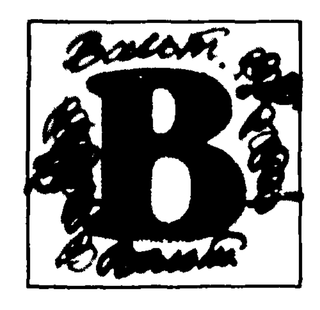
Все достижения ученого и изобретателя в маленькой заметке, конечно, перечислить невозможно, но нельзя не вспомнить формулу Томсона, полученную в 1853 г. для расчета резонансной частоты колебательного контура: $f = 1/2\pi\sqrt{LC}$, где L — индуктивность катушки и C — емкость конденсатора. Эта формула в почете не только у связистов.

Труды Томсона всегда находили быстрое признание, награды не заставляли ждать. В 1846 г. он избирается членом Эдинбургского, а через пять лет — Лондонского королевских обществ. Единственные печальные события: смерть отца (1849) во время эпидемии холеры и смерть жены (1870). Эксплуатация 70 патентов, работа в качестве консультанта во многих компаниях (в том числе и в фирме "Маркони") позволяли не стесняться в средствах. В 1870 г. Томсон приобрел роскошную яхту "Лалла Рух" водоизмещением 126 т. Несколько позднее (1874) на купленной усадьбе Нисерголл близ устья реки Клайд (Шотландия) он возвел замок. Значительное время отводилось заграничным путешествиям; во время одного из них ученый посетил Одессу и Севастополь.

В 1858 г. за успехи в прокладке кабеля муниципалитет Глазго присваивает Томсону рыцарское звание. В 1892 г. за большие научные достижения королева Виктория жалует ему титул пэра Англии. Так сэр Томсон превратился в лорда Кельвина. Фамилия выбрана по названию реки, на берегу которой стоит университет Глазго. Новый лорд автоматически стал членом Палаты лордов с 1892 г., где занимался вопросами высшего образования, техники, введения метрической системы в стране. Он был членом и председателем многих научных обществ, состоял почетным членом Петербургской АН, награжден многими почетными медалями.

Работы лорда Кельвина получили всемирное признание. На празднование 50-летнего юбилея его профессорской деятельности съехалось 2500 гостей. Чествование длилось три дня. В нашей стране даже в трудном 1924 г. широко отмечалось 100-летие со дня рождения ученого. Шестой номер журнала "Электричество", полностью посвященный Кельвину, вышел с красной надписью на обложке: "Lord Kelvin number".

В конце жизни Кельвин занимал пост президента Лондонского королевского общества (1900—1905). Последние два года в борьбе с болезнями провел в Нисерголле, где и скончался 17 декабря 1907 г. Похоронен в Вестминстерском аббатстве вблизи могилы Ньютона.





7. ВОЛЬТ

Говоря о знакомстве человека с электричеством, многие авторы утверждают, что электризация янтаря (древнегреческое название янтаря — электрон) была известна в V в. до новой эры ученикам грека Фалеса Милетского, который считается основателем античной и вообще европейской философии и науки. Приведенное утверждение, конечно, далеко от истины. Правильнее было бы сказать: тогда греки научились создавать электрические заряды. История знакомства человека с электричеством насчитывает многие тысячелетия. Все началось с атмосферного электричества — линейной и шаровой молний. Последняя, правда, наблюдается довольно редко. Молнии приносили много бед, но они стали практически единственным источником огня для наших далеких предков. Первое жаркое, первые печеные овощи, жареные плоды и орехи они несомненно отведали в сгоревших лесах и кустарниках. Труд и огонь создали человека. На заре существования человеческого общества задача сохранения огня была равносильна задаче сохранения жизни. Таким образом, можно считать, что электричество в определенном смысле "виновато" в появлении человека на Земле.

Наиболее благоприятные условия для образования грозовых туч создаются на побережьях экваториальных стран. Как раз в этих местах и обнаружены наиболее древние признаки обитания человека. Самое грозовое место на земном шаре — остров Ява. Там молнии сверкают 300 дней в году.

Заряд, накопленный облаком, обычно не превышает 50 Кл, напряжение может достигать сотен миллионов вольт, ток в канале ствола молнии составляет десятки и сотни тысяч ампер, а время разряда — микросекунды. Энергия, накопленная в об-

лаке, достаточно мала. Ее может хватить только на обеспечение работы современного телевизора в течение минуты. Однако очень мало и время разряда. Поэтому мощность разряда достигает десятков миллионов киловатт. Температура в канале молнии достигает 30 000° С. Таков "портрет" первой "зажигалки" наших предков.

Вторым источником электричества, с которым пришлось столкнуться человеку, были рыбы. Сейчас известно, что из 20 тыс. известных видов рыб около 300 обладают электрогенезом, т. е. свойством генерировать электричество в живых тканях. Они большей частью обитают в реках и океанах тропического пояса Земли. Электрический угорь способен создавать напряжение до 1200 В и ток до 1,2 А. Электрические сомы и американские звездочеты генерируют напряжение до 40 . . . 60 В и ток до 50 . . . 60 А. Электрический скат, даже при слабом движении в воде, создает напряжение более 400 В*. Мощные разряды крупных особей электрических рыб губительны для животных средних размеров и представляют большую опасность для человека. Необходимо отметить, что и размеры этих рыбок довольно впечатляющи. Скаты, например, достигают длины 1,8 м при массе до 90 кг, а угри – 2 м при массе до 20 кг.

Некоторые из "сильноэлектрических" рыб являются деликатесными. Хитроумные жители бассейна Амозонки оригинально решили проблему техники безопасности. Сначала в реку загонялось стадо коров, которые тут же с ревом вылетали обратно, а затем "разряженные" рыбы отлавливались подручными средствами.

До нас дошли сведения, что древние греки и древние римляне успешно занимались современным способом лечения – электротерапией. Электрический скат или угорь вместе с пациентом помещались в бочку с водой. Надо полагать, эффект был потрясающий!

---

* Условия испытаний в литературных источниках не оговорены.

Более гуманный и совершенно универсальный способ лечения всех болезней практикуется многими народами с глубокой древности до наших дней. Это — акупунктура, или иглоукалывание. Тело человека содержит около 700 точек, в которые для достижения нужного эффекта вводятся в соответствующей комбинации металлические иглы. По последним исследованиям оказалось, что каждая игла с тканевой жидкостью образует обыкновенный гальванический элемент с электродвижущей силой от 0,77 до 1,68 В в зависимости от материала иглы.

Попытки первых серьезных исследований в области электричества предпринял английский врач и физик Уильям Гильберт (1544— 1603). Он впервые ввел термин "электричество", установил возможность электризации ряда других материалов, кроме янтаря. Позднее еще несколько исследователей пытались использовать электростатические заряды для электролечения, но успеха не имели.

Следующий крупный шаг на пути изучения электричества сделал итальянец Луиджи Гальвани (1737—1798). Он учился в Болонском университете, занимался богословием, физиологией, заведовал кафедрой практической анатомии и гинекологии. С целью отыскания средств для лечения нервов и мышц Гальвани длительное время изучал влияние статического электричества на живую ткань. По результатам работ в 1791 г. был опубликован "Трактат о силах электричества при мышечном сокращении". Автор не претендовал на ценность результатов в силу своей некомпетентности и предлагал ознакомиться с проделанной работой всех желающих, "которые обычно находят удовольствие в познании начала и сути вещей, заключающих в себе нечто новое". Скромное заключение!

Не вдаваясь в подробности более чем десятилетних опытов настойчивого исследователя, следует обратить внимание на достигнутые результаты. Сначала Гальвани удалось создать чувствительный "прибор", реагирующий на статическое электричество. Им оказалась свежепрепарированная лапка лягушки — ее мышцы резко сокращались, когда к бедренному нер-

ву подключали электростатическую машину. Такая же реакция отмечалась, когда к нерву и лапке прикасались двумя соединенными между собой разнородными металлическими проводниками. И, наконец, лапка дергалась во время грозовых разрядов, если одна из ее оконечностей была заземлена, а к нерву прикасался длинный провод.

Последний эффект особого внимания исследователя не привлек, а зря. Непроизвольно был создан первый биологический приемник электромагнитных излучений. Только через 100 лет в 1894 г. английский физик Оливер Лодж применил для регистрации электромагнитных волн когерер, который позднее использовал А. С. Попов при создании первого в мире радиоприемника.

Вздрагивание лапки лягушки при присоединении к ней разнородных металлических проводников Гальвани объяснил прохождением тока через проводник за счет электричества, находящегося в самой лапке, которое он называл "животным электричеством". Объяснение, довольно туманное для понимания даже в наше время (хотя о биоэлектричестве сейчас хорошо известно), вызвало бурю негодования соотечественника исследователя Алессандро Вольты, который объявил Гальвани шарлатаном. Разразился, что называется, хороший скандал. В конце концов Гальвани удалось добиться гораздо менее заметного сокращения мышц без применения металлических предметов путем соприкосновения бедренного нерва лягушки с самой мышцей. Так было доказано существование биоэлектричества, хотя оно и не было признано.

Только с пятидесятых годов текущего века начали применяться приборы для регистрации функций мозга (электроэнцефалографы), сердца (кардиографы) и других органов. Несколько позже появились различные электрические стимуляторы деятельности пораженных болезнью органов. Сейчас на повестке дня стоит вопрос о массовом применении электростимуляторов. Например, полагают, что медикам придется вживлять около 200 стимуляторов деятельности сердца на миллион жителей.

У каждой медали или монеты есть лицевая и обратная сторона, или, по-научному, аверс и реверс. Так и в жизни человечества электричество используется не только для целей диагностики и лечения. В США в качестве средства казни применяется электрический стул, а для выявления неблагонадежных — печально известный полиграф, который в печати чаще упоминается под названием "детектор лжи". В последнем устройстве производится одновременная запись биопотенциалов, возникающих на различных участках кожного покрова человека в процессе ответа на задаваемые вопросы. Применяющиеся методы дешифровки записей не позволяют определить степень верности ответов, зато сама процедура оказывает сильное психическое воздействие на испытуемых.

Опыты Гальвани вскоре оказались забытыми на многие десятки лет. Однако имя первооткрывателя увековечено в названиях ряда приборов, например: гальванический элемент, гальванометр. Его имя входит в состав названия крупного раздела электрохимии — гальванотехники, в котором объединяются все вопросы нанесения металлов на металлические и неметаллические поверхности. Без использования этих процессов практически невозможно в наше время создать какой-либо прибор, машину, печатную форму, грампластинку и т. д.

А. Вольта после долгих сомнений по-иному истолковал причину возникновения электрического тока в опытах Гальвани и в результате создал первый достаточно мощный источник электрического тока. С этого момента стало принципиально возможно создавать средства электросвязи и всей электротехники в целом. Об этом талантливом ученом и изобретателе необходимо рассказать более подробно.

Алессандро Вольта родился 18 февраля 1745 г. в старинной аристократической семье, проживавшей в небольшом городе Комо на Севере Италии. Ему, как и брату, была уготована карьера священнослужителя после окончания иезуитского колледжа. Брат стал впоследствии архиепископом. Алессандро, увлекшись физическими опытами, без колебаний сменил сутану на камзол преподавателя Королевского училища в

Комо, где проработал с 1774 по 1779 г. В 26-летнем возрасте он выпустил первый труд "Эмпирические исследования способов возбуждения электричества и улучшения конструкции машины".

Свое первое серьезное изобретение Вольта сделал в 1772 г. Появилось описание электроскопа с расходящимися соломинками, обладающего гораздо большей чувствительностью, чем применявшиеся ранее с подвешенными на нитях пробковыми, бузиновыми и другими шариками. Прибор приобрел метрические свойства, так как отклонение соломинок на угол до 30° оказалось пропорциональным заряду электроскопа. Позже автор увеличил чувствительность, присоединив к электроскопу изобретенный им конденсатор (1783). Электроскоп оставался единственным измерительным прибором, которым Вольта и другие исследователи могли пользоваться до изобретения немецким физиком И. С. Швейгером (1779–1857) в 1820 г. первого гальванометра, получившего название мультипликатора. Первое крупное признание работы Вольты получили в 1791 г., когда Лондонское королевское общество присудило ему за изобретение электроскопа медаль Коплея и избрало его своим членом.

Интересы молодого ученого многообразны. В 1776 г. он открыл болотный газ – метан и тут же использовал его в газовом пистолете – "пистолете Вольты". Взрыв осуществлялся электрической искрой. Продолжались работы и в области электричества. В 1775 г. изобретен смоляной электрофор, в 1776 г. предложен способ передачи электрических сигналов на линии Комо–Милан, так и оставшийся в проекте.

В 1779 г. Вольту пригласили занять кафедру физики в университете с тысячелетней историей г. Павия близ Комо, где он и проработал до 1815 г. Четыре года – с 1815 г. по 1819 г. – служил деканом философского факультета в Падуе. Наиболее плодотворным периодом деятельности ученого стало последнее десятилетие XVIII в.

Все началось с публикации Л. Гальвани. Вольта повторил опыты, поверил в них, но в 1792 г. отверг "животное электри-

чество". Он писал, что живые ткани электричества не генерируют — они лишь его чувствуют. Все проводники были разделены на две группы: "проводники первого класса" — металлы и "проводники второго класса" — электролиты, т. е. растворы солей и кислот. Во время одного из опытов экспериментатор засунул себе в рот изделия из двух разнородных металлов (олово и серебро). Изделия соединялись вместе, причем одно из них касалось кончика языка, а другое — щеки. Возникло ощущение кислого вкуса. После перемены мест металлов вкус оказался щелочной. Кое-кто утверждает, что этими изделиями были монеты.

Так было открыто явление, получившее позднее название контактной разности потенциалов. При соприкосновении двух разнородных металлов из-за различной работы выхода электронов они поляризуются. Один приобретает положительный потенциал, а другой — отрицательный. Вольта поставил уникальный эксперимент по измерению контактной разности потенциалов (КРП), который завершился составлением известного "ряда Вольты" (1793). Он писал, что физиологическое раздражение нервов "тем сильнее, чем дальше отстоят друг от друга два металла в том ряду, в каком они поставлены нами здесь: цинк, свинец, железо, латунь и различного качества бронза, медь, платина, золото, серебро, ртуть, графит". Ряд составлен правильно, только графит ошибочно назван металлом. Затем было открыто правило Вольты, согласно которому в цепи, состоящей на нескольких проводников, результирующая КРП определяется КРП между крайними проводниками и не зависит от промежуточных участков цепи.

Явление КРП сейчас широко используется при конструировании всех полупроводниковых приборов. На границе между двумя полупроводниками разной структуры или на границе металл—полупроводник образуются зоны объемного заряда. Управляя соответствующим образом этими зонами, можно обеспечивать одностороннюю проводимость приборов (диоды) или усиливать внешние сигналы (полевые, биполярные транзисторы и другие приборы).

Последнее пятилетие активной научной жизни Вольта начал с женитьбы в 1795 г. Ему пошел шестой десяток, приближалось самое знаменательное открытие. Вольта снова принялся потрошить лягушек, пытаясь выяснить роль тела лягушки в процессе образования электричества. Надо сказать, что Гальвани и Вольта были довольно самоотверженными людьми. Ведь лапки лягушки являются деликатесом в итальянской кухне.

В конечном итоге исследователь выяснил, что жидкость, содержащуюся в теле лягушки, вполне можно заменить другими "проводниками второго класса", помещенными между двумя разнородными металлами. Он не понял принципа работы нового источника тока, считая электролит только проводником тока. Сообщение "Об электричестве, возбуждаемом простым соприкосновением простых проводящих веществ" опубликовано Лондонским королевским обществом на основании письма Вольты в 1800 г. Первый вольтов столб состоял из 20 чередующихся медных и цинковых кружков, разделенных смоченными в соленой воде или в растворе щелочи прослойками ткани, бумаги или кожи. Первый и остававшийся практически единственным источник постоянного тока в течение следующих 50 лет стал реальностью! Свинцовый аккумулятор появился только в 1859 г.

Последнее достижение Вольты относится к 1801 г. Он указал, что напряжение столба равно сумме напряжений отдельных пар элементов. Вольте принадлежит введение понятий "цепь", "ток", "электродвижущая сила", "разность напряжений".

Простота изготовления вольтова столба предопределила его быстрое и широкое распространение. Изобретение восторженно принималось к "эксплуатации" физиками, чего, пожалуй, нельзя сказать о зрителях. В процессе демонстрации столба из-за отсутствия приборов его действие проверялось силой электрического разряда через человека и по вкусовому ощущению. Если учесть, что существовали столбы с напряжением

в несколько сотен вольт, то такие эксперименты отнюдь нельзя было назвать безопасными.

К изобретателю пришли почет и слава. Во Франции в его честь чеканится медаль, первый консул Директории генерал Бонапарт (северную часть Италии оккупировала тогда Франция) приглашает Вольту с демонстрационной поездкой, основывает фонд в 200 тыс. франков для гениальных открывателей в области электричества и первую премию вручает автору столба. Он избирается членом Петербургской академии наук и даже приглашается работать в Россию.

А что же Вольта? Он просит у Бонапарта разрешения оставить кафедру и удалиться на отдых: "У нас, ученых, как на вечеринке — нужно уходить на отдых в самый разгар веселья". Еще 18 лет продолжается тихая преподавательская жизнь. В 1819 г. А. Вольта возвращается в родной Комо, где и умирает 5 марта 1827 г.

Вольт — единица электрического напряжения, разности электрических потенциалов, электродвижущей силы получила наименование в честь А. Вольты в 1881 г. на I Международном конгрессе электриков. Тогда же были приняты единицы силы тока и сопротивления, т. е. ампер и ом.

По определению вольт — электрическое напряжение на участке электрической цепи с постоянным током силой 1 А, в котором затрачивается мощность 1 Вт.

В технике электросвязи приходится иметь дело с напряжениями, измеряемыми от единиц микровольт (например, на входе радиоприемника) до единиц и десятков киловольт. В кабельные линии магистральной связи через каждые несколько километров обязательно включаются усилители. Поскольку нет возможности подводить к каждому из них питающие напряжения, то все они по цепи питания соединяются последовательно. Общее напряжение питания составляет несколько киловольт. Напряжение на анодах цветных кинескопов в телевизорах и дисплеях достигает 25 кВ. Такие же напряжения применяют для питания выходных каскадов вещательных радиопередатчиков.


Свема
МК 60
УРАН
1,5 В
4,5

Все, вероятно, замечали, что за многими автомашинами тащится плоский ремешок, который предназначен для снятия статического электричества. Обдуваемый встречным потоком воздуха кузов может заряжаться подобно янтарю до сотен киловольт. При отсутствии этого своеобразного заземлителя водитель или пассажир, берясь за ручку дверцы автомобиля, ощущает достаточно чувствительный электрический удар.

Особенно опасны электрические заряды для некоторых полупроводниковых приборов. Во избежание потери работоспособности приходится принимать специальные меры.

До сотен киловольт могут заряжаться монтажники РЭА, полупроводниковых приборов, микросхем, особенно те, кто пользуется одеждой из синтетических тканей. (А кто ею сейчас не пользуется?) Эти люди работают с металлическим браслетом на руке, который соединен проводником с шиной заземления.

Для питания РЭА в настоящее время используется много источников энергии. Модификации жидкостных элементов Вольты применяются редко. Зато широкое применение нашли так называемые сухие элементы, или элементы Лекланше. Они используются в телефонии, подвижной радиосвязи, переносной бытовой или измерительной аппаратуре. Конструкция их многим знакома. В цинковый стакан помещается полужидкий электролит, а по оси стакана устанавливается угольный электрод. За счет окисления цинка возникает электродвижущая сила около 1,5 В.

Электропитание автоматических телефонных станций (АТС), различной радиоаппаратуры осуществляется от щелочных аккумуляторов. Вот, например, как это делается на АТС. Аппаратура получает электроэнергию от мощных выпрямилетей, которые питают не только ее, но и подсоединенную параллельно батарию аккумуляторов. При выходе из строя электросети АТС не перестает работать. До включения аварийных источников электропитание осуществляется от аккумуляторов.

Очень трудно организовать электропитание промежуточных станций радиорелейных линий, отстоящих друг от друга

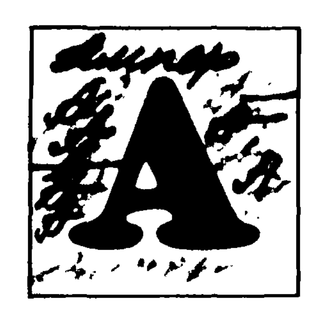
на 50 . . . 60 км. Однако в последнее время в связи с появлением высоконадежной и экономичной транзисторной аппаратуры стало возможным использовать радиоактивные источники энергии с непосредственным преобразованием тепла в электроэнергию с помощью термоэлементов. Такие необслуживаемые станции могут бесперебойно работать 10 . . . 15 лет.

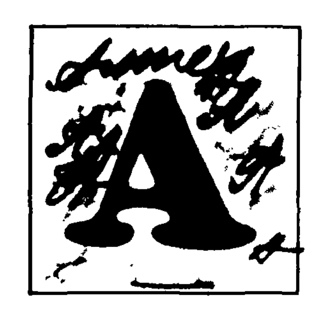
Для питания РЭА нашли также применение серебряно-цинковые аккумуляторы, солнечные батареи, кислородно-водородные преобразователи, бензоэлектрические и дизельэлекрические агрегаты, ветроэлектростанции и т. д.

Во многих источниках используются окислительно-восстановительные процессы, которые были положены в основу при создании первого источника А. Вольты.

В честь А. Вольта назван прибор для измерения напряжения — вольтметр. Надо сказать, что этот прибор наиболее часто применяется связистами и специалистами в других областях радиоэлектроники в процессе настройки аппаратуры и при поиске неисправностей. Причина? Идеальный вольтметр обладает бесконечно большим входным сопротивлением и, следовательно, при его подключении режим работы аппаратуры не меняется. Второе достоинство — при использовании вольтметра нет нужды производить какие-либо перепайки в схемах, что необходимо при включении амперметра или омметра.

Сведения о принципах работы стрелочных вольтметров читатель найдет в следующей главе этой книги. В последнее время стрелочные приборы начинают активно заменять приборами с цифровым отсчетом. Даже в чемоданчиках телерадиомастеров уже можно увидеть мультиметры (совмещенная конструкция вольтметра, амперметра и омметра) с индикатором на жидких кристаллах.





8. АМПЕР

После создания вольтова столба появилась возможность вести эксперименты с электрическим током. Было произведено разложение воды, растворов солей и щелочей, обнаружено нагревание и свечение тонкой металлической проволоки, действие тока на магнитную стрелку. Свою лепту внесли и русские ученые. В 1802 г. академик Петербургской академии наук В. В. Петров (1761–1834) открыл явление электрической дуги, получившей название вольтовой дуги. Десятью годами позже П. Л. Шиллинг (1786–1837) с помощью электрического тока взрывал на Неве подводные мины.

Эффект действия электрического тока ощущали многие, но не более. Нужны были объяснения явлений, проведение какой-то количественной оценки, т. е. научное обоснование опытов. Позднее известный русский ученый Д. И. Менделеев (1834–1907) писал: "Наука начинается там, где начинаются измерения". За решение этих задач взялся А.-М. Ампер, которого его современник английский физик Д. К. Максвелл (1831–1879) назвал Ньютоном электричества.

Андре-Мари Ампер – сын высокообразованного и преуспевающего торговца мануфактурой, отличавшегося прогрессивными взглядами. Он появился на свет в Лионе 20 января 1775 г., детские и юношеские годы провел в семейном поместье Полемье близ родного города. Читать научился очень рано, нигде никогда не учился, но обладал энциклопедическими знаниями. Самообразование, только самообразование – вот единственный образ постижения знаний, который он исповедовал всю жизнь. Основным источником знаний стали богатая отцовская библиотека и библиотека Лионского лицея.

До восемнадцатилетнего возраста Андре-Мари изучил латинский, греческий и итальянский языки, глубоко ознакомился с физикой, высшей математикой, увлекался поэзией (пробовал сочинять), ботаникой. Основы прочих знаний юноша, обладавший феноменальной памятью и аналитическим мышлением Паскаля, почерпнул в тридцатишеститомной энциклопедии Д. Дидро, выпуск которой завершился в 1780 г. В 13 лет он представил первое математическое сочинение в Лионскую академию.

Великая французская революция внесла коррективы в судьбы многих французов. Старшего Ампера, бывшего в то время прокурором Лиона, после подавления лионского восстания (1793) арестовали, судили и обезглавили на гильотине. Финансовому благополучию семьи пришел конец. Три года Андре-Мари еще продолжал заниматься сочинительством, филологией, немного физикой, но потом пришлось начать давать частные уроки. Последнему обстоятельству, вероятно, немало способствовало желание заполучить руку Катрин Каррон. Некрасивому и, по словам современников, неряшливому, но предельно упрямому жениху для решения этой трудной задачи потребовалось четыре года.

Материальные трудности заставили Ампера заняться профессиональной преподавательской деятельностью: сначала в качестве учителя в школе г. Бурга (1801), затем преподавателя Лионского лицея (1803), репетитора (1804) и профессора Политехнической школы в Париже (1809). Последняя была уже высшим техническим учебным заведением. Столь быстрое продвижение по служебной лестнице стало возможным после выпуска им первой печатной работы "Соображения о математической теории игр" (1802) и последующих трудов в области математики.

В 1814 г. Ампер избирается членом Академии наук Франции по разряду математических наук.

Впервые внимание Ампера электричество привлекло в 1801 г. Тогда он и А. Вольта выступали на заседании Лионской академии. Ампер пытался развить теорию единства элект-

рических и магнитных явлений на основе законов механики. Вторично и надолго электричество его заинтересовало в 1820 г. после ознакомления с опытами датского физика Х. К. Эрстеда (1677–1751). Ток, протекающий по проводнику, отклонял магнитную стрелку! Создавалось впечатление, что электричество, как что-то ощутимое, двигалось. Должны были существовать законы этого движения.

Следует серия ювелирно поставленных опытов с приборами, изготовленными по чертежам экспериментатора. Вводятся новые понятия: "электрический ток", "направление электрического тока", "соленоид", "гальванометр" (прибор, с помощью которого определяется сила и направление тока).

Если отбросить витиеватость высказываний, свойственную началу XIX в., то суть мыслей Ампера можно свести к следующему. Магнитная стрелка отклоняется под воздействием тока, протекающего через проводник. Значит, проводник образует магнитное поле. Два проводника с токами должны взаимодействовать подобно магнитам. Множество проводников с токами, проходящими в одном направлении (катушка или соленоид), должны образовывать большой (сильный) магнит. Возможно, внутри Земли существуют токи, поэтому обнаруживается ее магнитное поле. Источником тока может быть вольтов столб, образованный горными породами. К логическому строю мыслей, кроме последней, придраться невозможно.

Все предположения блестяще подтвердились! Как теперь хорошо известно, параллельные проводники с токами одного направления взаимно отталкиваются, а с противоположно направленными токами взаимно притягиваются. Ампер рассчитал даже силу взаимодействия проводников при их произвольном взаимном расположении. Катушки с током в поле Земли всегда поворачивались на некоторый угол. Таким образом, в результате проведенных опытов Ампер практически доказал возможность создания электродвигателей и электроизмерительных приборов.

Ампер был очень близок к изобретению электромагнита. Он догадался вставить в катушку стальную иглу для увеличения силы притяжения железных опилок, но дальше не пошел.

Независимо от немецкого физиолога С. Т. Земмеринга, но немного позже Ампер предложил не нашедшую применения систему электромагнитного телеграфа, где сигнал каждой буквы передавался токовой посылкой по отдельному проводу. На приемной стороне наличие сигнала регистрировалось по отклонению одной из магнитных стрелок. Позднейшая практика показала, что абонентов нельзя связывать большим числом проводов, так как стоимость линий связи составляет до 80 % всей стоимости системы телеграфной связи.

Область электротехники, где описываются явления, происходящие в цепях с током, Ампер впервые назвал электродинамикой. Он же ввел много других терминов, например "кибернетика".

Обобщение большей части работ исследователя в области электричества содержится в вышедшей в 1826 г. книге "Теория электродинамических явлений, выведенная исключительно из опытов". После 1826 г. Ампер все меньше занимается электричеством, переключаясь на математику, механику, физику и философию. Он быстро теряет работоспособность, и тому были веские причины.

Хроническая нехватка денег (ученый остался с двумя маленькими детьми на руках) заставляет Ампера наряду с преподавательской деятельностью в высших учебных заведениях и постоянными научными поисками подрабатывать в качестве инспектора школ и лицеев, разъезжая по всей территории страны. Будучи давно и тяжело больным, он отправился в последнюю командировку и умер 11 июня 1836 г. в Марселе, где и был похоронен. Перезахоронение на Монмартрское парижское кладбище состоялось в 1869 г. "Он был так же добр и так же прост, как и велик" — начертано на надгробии.

При жизни А.-М. Ампер был награжден Орденом Почетного легиона, избран членом более 15 академий и в том числе иностранным почетным членом Академии наук в С.-Петербурге (1831), являлся членом многих научных обществ. Ему уста-

новлен памятник в Лионе, имя ученого присвоено Лионскому лицею и научно-исследовательскому центру, а в США — даже небольшому городу. Семейное владение Полемье превращено в Музей Ампера. Работам и жизни Ампера посвящено большое число публикаций.

Единица электрического тока, получившая название по имени основателя электродинамики А.-М. Ампера, принята на парижском I Международном конгрессе электриков в 1881 г. В современной редакции ампер — это сила постоянного тока, который, приходя по двум параллельным прямолинейным проводам бесконечной длины и ничтожно малого сечения, расположенным в вакууме на расстоянии 1 м один от другого, вызывал бы между ними силу взаимодействия, равную $2 \cdot 10^{-7}$ Н на каждый метр длины. Реальные эталоны силы тока создаются по принципу измерения силы притяжения двух стандартных катушек с помощью специальных токовых весов.

Убедившись, что два параллельных проводника в зависимости от направления токов притягиваются или отталкиваются, т. е. ведут себя как магниты, Ампер еще раз решил проверить предположение о том, что и сам проводник с током должен определенным образом ориентироваться в магнитном поле Земли. Через длинную катушку (соленоид) на свободном подвесе был пропущен ток. Катушка подобно магнитной стрелке сориентировалась вдоль магнитных силовых линий Земли.

Сила, взаимодействующая на проводники с током в магнитном поле, позже получила название силы Ампера. Она широко используется в технике электросвязи для самых различных цепей. Вот один из примеров: стрелочный измерительный прибор магнитоэлектрической системы. Это самый распространенный вид стрелочных измерительных приборов в электронике и электротехнике (рис. 8) .

В однородное поле постоянного магнита помещается на оси многовитковая рамка (узлы подвеса не показаны) . Направление силы, действующей на рамку при протекании по ней тока, определяется правилом левой руки, так как вектор магнит-

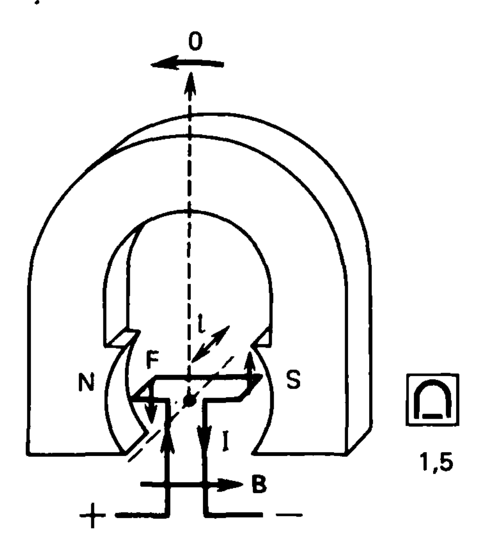


Рис. 8. Общая схема конструктивного решения прибора магнитоэлектрической системы

ной индукции В перпендикулярен направлению тока. Надо левую руку расположить так, чтобы силовые линии входили в ладонь, а четыре вытянутых пальца совпадали с направлением тока. Направление действующей силы совпадает с направлением отставленного большого пальца. Рамка повернется против часовой стрелки, так же как и укрепленная на ней стрелка-указатель. Силу, действующую на рамку, подсчитал еще Ампер: $F = IBl$, где I – ток через рамку, а l – ее длина.

Угол отклонения стрелки прямо пропорционален величине тока. Таким образом, прибор имеет удобную равномерную шкалу с одинаковыми расстояниями между соседними делениями. Направление отклонения стрелки указывает на полярность подключенного источника тока. На шкале такого прибора кроме марки изделия, даты изготовления, индивидуального номера и клейма завода-изготовителя изображается подковообразный магнит – символ магнитноэлектрической системы и число, которое обозначает класс точности. Последний характеризует максимальную погрешность измерения в процентах для конкретной марки изделия.

У приборов магнитоэлектрической системы есть несколько названий: гальванометр, микро- или миллиамперметр, амперметр, милли- или киловольтметр, вольтметр и др. В принципе может использоваться один прибор. Меняются только схемы его включения, что обычно и делается на практике. На рис. 9, *а* показана схема включения чувствительного прибора для измерения больших токов. Нет, прибор не будет испорчен, он заблокирован шунтом с очень маленьким сопротивлением

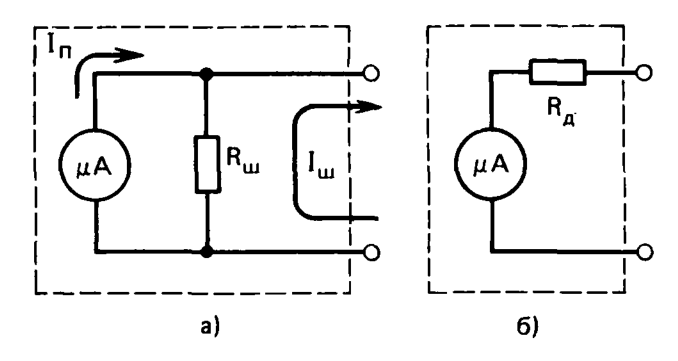


Рис. 9. Схемы включения амперметра и вольтметра

(малые доли ома) $R_ш$. Через прибор пройдут единицы микро- или миллиампер $I_п$, хотя шкала проградуирована в сотнях ампер. Остальной ток $I_ш$ пойдет через шунт. При включении прибора в качестве вольтметра ток через него лимитируется сопротивлением добавочного резистора $R_д$ (рис. 9, *б*).

С появлением переносной бытовой радиоаппаратуры, снабженной малоемкими источниками электропитания, приборы указанного типа стали широко применяться в магнитофонах в качестве индикаторов уровня записи и в радиоприемниках для индикации точной настройки.

Другой пример. В каждом доме обязательно есть какая-нибудь радиоаппаратура; только телевидением не охвачена еще малая толика территории страны. Все эти аппараты снабжены электродинамическими громкоговорителями. И в них тоже работает сила Ампера. Разрез бытового громкоговорителя приведены на рис. 10, *а*.

Звуковая катушка с обмоткой *2* расположена в кольцевом зазоре между сильным постоянным магнитом *1* и кольцевым магнитопроводом из мягкого железа *3*. Железо называется мягким, потому что обладает малым сопротивлением магнитному потоку и почти теряет магнитные свойства, если из контура, куда входит сделанная из него деталь, изъять источник магнитного потока. Звуковая катушка (обычно несколько десятков витков медного провода вокруг бумажной гильзы) центруется с помощью мягкой диафрагмы *6*. Звукоизлучаю-

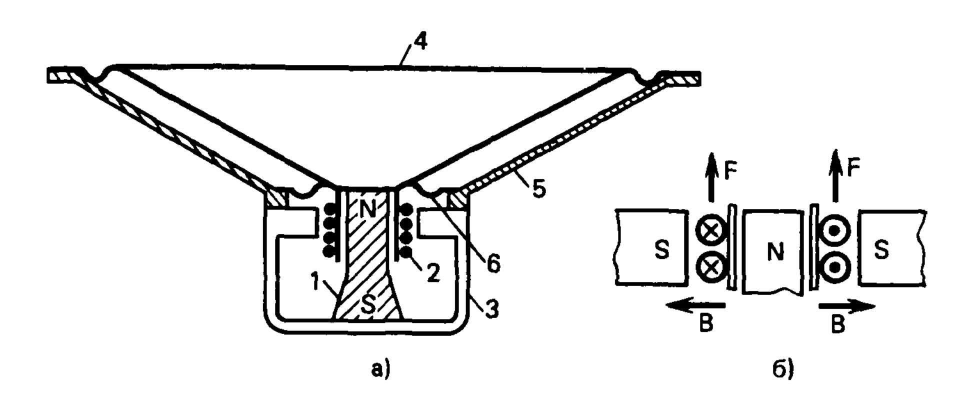


Рис. 10. Конструкция электродинамического громкоговорителя

щей поверхностью является диффузор *4*, выполненный из плотной прессованной бумажной массы. Нижняя его часть по рисунку соединена со звуковой катушкой, а верхняя через мягкий подвес с крепежной арматурой *5*.

Звуковая катушка питается от усилительных устройств токами звуковой частоты, но вращательных движений она не совершает. Физика явления объясняется с помощью рис. 10, *б*, где изображены фрагменты магнита, катушки и полосных наконечников кольцевого магнитопровода. Пусть в какой-то момент в левом разрезе витков катушки ток уходит от наблюдателя (условное обозначение X). Тогда по правому срезу витков он будет возвращаться (условное обозначение ·). Согласно правилу левой руки витки катушки и, следовательно, она сама будут выталкиваться вверх. При смене полярности сигнала наблюдается обратное явление. В результате катушка колеблется около своего исходного положения.

Этот принцип действия заложен в основу практически всех существующих громкоговорителей, хотя в последнее время предпринимаются усиленные попытки создания новых видов электроакустических преобразователей. Были сообщения даже о плазменных громкоговорителях. Устремления не случайны. Многие изобретатели ломают головы в поисках способов достижения высокой верности звуковоспроизведения. Профессионалы, меломаны, а чаще просто состоятельные дилетанты

от музыки стремятся заполучить аппаратуру высшего класса качества, так называемую аппаратуру класса супер Hi—Fi[1].

К сожалению, электродинамические громкоговорители в настоящее время и в будущем из-за инерционности всей колебательной системы и в силу других специфических особенностей не могут использоваться в качестве идеальных электроакустических преобразователей, но на их основе созданы отличные звуковоспроизводящие устройства, удовлетворяющие требованиям самого взыскательного слушателя. Нездоровый ажиотаж вокруг аппаратуры класса супер Hi—Fi искусственно подогревается иностранными фирмами — производителями радиоаппаратуры в борьбе за рынки. Каково бы ни было качество воспроизведения звука, его субъективная оценка лимитирована акустическими характеристиками слухового аппарата человека. Они-то практически использованы полностью.

Электродинамическим громкоговорителям предстоит долгая жизнь. Достойных альтернативных решений пока не существует.

Можно еще приводить в пример многие устройства, в которых используются открытые Ампером явления. Хочется привлечь внимание читателей к экрану телевизора и дисплея, которые нашли чрезвычайно широкое применение в самых разнообразных информационных устройствах и системах управления. Во всех этих приемных или оконечных устройствах, получивших общее название терминальных, используются электровакуумные приборы — кинескопы. В цокольной части их достаточно длинной горловины находится электронная пушка, а проще — раскаленный катод, испускающий электроны. Несколько ближе к экрану расположены электроды, с помощью которых формируется узкий электронный пучок. Под действием высокого ускоряющего напряжения (до 25 кВ) он устремляется к центру экрана, люминофор светится.

Для создания на экране кинескопа визуально воспринима-

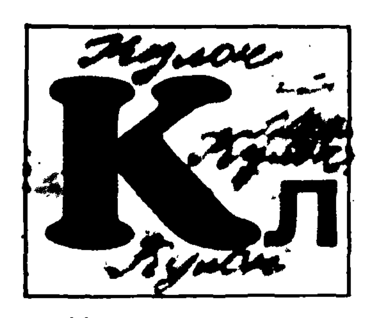
---

[1] High fidelity — (англ.) высокая верность воспроизведения.

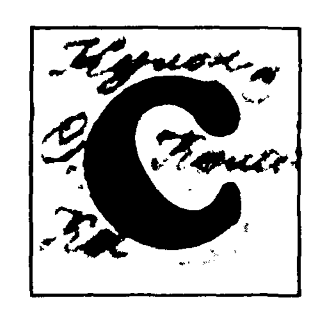
емого изображения электронный луч под действием магнитного поля отклоняющих катушек периодически отклоняется слева направо и медленно перемещается сверху вниз. Формируется так называемый строчной растр. Строчная структура четко просматривается на экране. В кинескопах сила Ампера перемещает электронный луч подобно физическому проводу, по котрому протекает ток.

В конце жизни А.-М. Ампер был удостоен многих почестей, хотя, увы, нужда не оставила его. Он был просто большим ученым, постигал истину и не видел практического применения результатов своей работы. Такая ситуация встречалась в то время довольно часто. Например, в 1825 г. английский механик Уильям Стерджен изобрел и продемонстрировал в действии электромагнит в виде многовитковой катушки с сердечником из мягкого железа. Демонстрация в лондонском Обществе искусств имела успех. Автор получил серебряную медаль и премию, а само устройство оставалось забытым многие годы.

В случившемся нет ничего удивительного, поскольку не существовало мощных источников электрического тока. С электрическим током лишь экспериментировали, о начале века электричества было объявлено только в 1881 г. на I Международном конгрессе электриков, участники которого назвали единицу силы тока именем А.-М. Ампера.



9. КУЛОН



Кулон в качестве единицы количества электричества (электрического заряда) принят в числе первых электротехнических единиц на I Международном конгрессе электриков в 1881 г. Он определяется как количество электричества, проходящее через поперечное сечение проводника за 1 с при силе тока, равной 1 А.

Для учета расхода электроэнергии единица количества электричества применения не нашла. Да и при проведении расчетов элементов аппаратуры связи кулон встречается крайне редко. Может быть, о количестве электричества вообще говорить не стоит? Нет, стоит! Просто в расчетных соотношениях количество накопленного электричества выражается через другие единицы, например $q = It$ или $q = CU$. Ток и напряжение легко измеряются самыми различными способами.

Вся без исключения аппаратура связи содержит конденсаторы в явном (устанавливаются при изготовлении аппаратуры для выполнения необходимых функций) и неявном виде. Последние образуются между монтажными проводами и корпусом изделия, между деталями и корпусом, между электродами усилительных приборов, обмотками трансформаторов и т. д. Для них существует даже обобщающее название: паразитные емкости схемы. Ну, а если так, то все эти конденсаторы в процессе работы аппаратуры будут согласно закону изменения сигнала перезаряжаться. Задача разработчика состоит в том, чтобы подобрать приемлемые временные характеристики их перезарядки, например, сделать генератор, формирующий сигналы синусоидальной и прямоугольной формы, сократить время заряда паразитных емкостей с целью уменьшения искажений формы сигналов и т. п. Часто требуется обеспечить

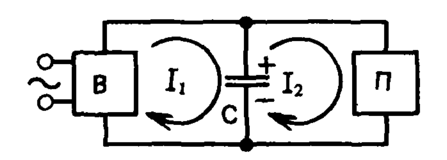


Рис. 11. Схема включения буферного конденсатора

примерное постоянство зарядов конденсаторов и напряжения на них. Такой случай рассмотрен ниже.

На рис. 11 изображена простейшая схема, состоящая из выпрямителя В, потребителя П и буферного конденсатора С. Токопотребление в значительной степени зависит от вида обрабатываемых сигналов. Предположим, что в качестве потребителя используется усилитель сигналов звуковой частоты. Тогда, особенно при усилении сигналов оркестровой музыки, потребляемая от выпрямителя мощность может меняться от долей до нескольких десятков ватт, причем пиковая мощность отбирается в течение каких-то долей секунды. В таких случаях нет нужды устанавливать мощный и, следовательно, дорогостоящий выпрямитель. Достаточно установить буферный конденсатор соответствующей емкости, что и делается на практике.

Схема будет работоспособна, если количество электричества q_1, запасенное на конденсаторе за счет его заряда малым током I_1 за время t, было существенно больше израсходованного потребителем q_2, т. е. $I_2 t = I_2' \Delta t' + I_2'' \Delta t'' + \ldots$, где $I_2' \Delta t'$ – расходуемое количество электричества за время $\Delta t'$ и т. д.; $t = \Delta t' + \Delta t'' + \ldots$

Образно буферный конденсатор удобно сравнить с высокой плотиной на неполноводной реке, за которой образуется обширное водохранилище. Объем водохранилища можно считать эквивалентом заряда конденсатора, а высоту плотины – эквивалентом напряжения. Создается возможность по мере надобности регулировать расход воды в широких пределах при незначительном колебании уровня водохранилища.

Обычно в указанных изделиях емкость буферного конденсатора не превышает 10 000 мкФ при рабочем напряжении 25 ... ...50 В. Иначе говоря, запасенный заряд составляет 0,25...0,5 Кл. Максимальная емкость электролитических конденсаторов широкого применения (например, К50–32) достигает 100 000 мкФ

при рабочем напряжении 25 В; полный заряд составляет 2,5 Кл. Масса такого конденсатора 1300 г, диаметр 80 мм и высота 142 мм. Довольно впечатляющие характеристики для транзисторной аппаратуры и особенно для аппаратуры на микросхемах. Для сравнения отметим, что величина заряда электрона — наименьшего носителя заряда — оценивается в 1,6 × $\times 10^{-19}$ Кл.

В большинстве случаев накапливаемая величина заряда на конденсаторах, установленных в радиоэлектронной аппаратуре, составляет малые доли кулона. Однако следует учитывать не только величину заряда, но и напряжение на конденсаторах. Автор по собственному опыту знает, что при случайном замыкании рукой конденсатора емкостью в несколько сотен микрофарад при напряжении 300 . . . 350 В ощущение не из самых приятных и не желает никому проводить подобные эксперименты. При этом пинцет и детали, находившиеся в руках, иногда самостоятельно и далеко отлетали в сторону.

Единица количества электричества названа в честь французского инженера и исследователя Шарля Огюстена Кулона. О Кулоне сохранилось очено мало сведений. Он родился 14 июня 1736 г. в Ангулеме — центре департамента Шаранта, неподалеку от более известного города Коньяка. Сын крупного ангулемского чиновника, он получил в Париже инженерное образование и стал офицером-фортификатором. В течение десяти лет строил крепостные сооружения на острове Мартиника, расположенном почти на экваторе в западной части Атлантического океана. Первый труд в области архитектуры написал во время службы на острове и в 1773 г. представил его в Парижскую академию.

Десятилетняя служба в тропиках закончилась в 1776 г. Кулон получил отпуск для восстановления здоровья и вернулся в Париж. В это время Парижская академия объявила конкурс на тему: "Изыскание лучшего способа изготовления магнитных стрелок, их подвешивания и проверки их направления с направлением магнитного меридиана". Оставаясь на военной службе, Кулон активно занялся конкурсной работой. Через

год уже не молодой, но начинающий исследователь получил премию академии. Понравилось. Затем было выполнено еще несколько работ в области механики. В 1782 г. Кулона избрали адъюнктом академии. Еще через два года вышла работа: "Теоретические и экспериментальные исследования силы кручения и упругости металлических проволок". Исследователь научился по углу закручивания свободно висящей проволоки определять приложенную крутящую силу. Получился очень чувствительный прибор. Для измерения силы взаимодействия заряженных тел их осталось разместить на концах планки, укрепленной серединой за нижний конец свободно висящей проволоки. Так появились электрические крутильные весы, или весы Кулона (1784), которые и в настоящее время используются в ряде высокочувствительных приборов. Весы стали одним из первых электроизмерительных приборов. Используя их, исследователь доказал некоторые основные закономерности в области электричества и магнетизма.

Существенные изменения в жизни Кулона произошли в 1784 г. после его назначения генеральным смотрителем лесов и водных ресурсов Франции. Есть сведения, что он стал материально обеспеченным и имел много свободного времени для проведения исследовательских работ. Работал он также в Министерстве просвещения и в Комиссии по мерам и весам.

В 1785–1789 гг. Кулон написал семь работ (тогда они назывались мемуарами) по электричеству и магнетизму. Первый мемуар (1785) посвящался описанию конструкции и применению электрических весов. На основании измерения сил притяжения и отталкивания двух заряженных бузиновых шариков удалось экспериментально доказать закон их взаимодействия, хотя в общих чертах он был известен ранее. Согласно закону Кулона эта сила

$$F = k\frac{q_1 q_2}{r^2},$$

где k — коэффициент пропорциональности; q_1 и q_2 — взаимодействующие заряды; r — расстояние между зарядами.

Во втором мемуаре (1785) доказывалось, что два магнита взаимодействуют аналогично электрическим зарядам. Следует заметить, что при описании работ Кулона используется современная терминология. Исследователь оперировал терминами "электрическая жидкость", "магнитная жидкость" и т. д.

Любое заряженное тело или конденсатор через любую по величине нагрузку разряжается по экспоненциальному закону — таков вывод третьего мемуара (1785). Эту закономерность должен знать любой связист.

Четвертый (1786), пятый (1787) и шестой (1788) мемуары посвящены исследованию вопросов распределения зарядов на поверхности тел и между телами при их соприкосновении, доказательству аналогии закона Кулона закону всемирного тяготения. Последний мемуар "О магнетизме" опубликован в 1789 г., хотя на эту тему были и более поздние публикации.

Конец 80-х и начало 90-х гг. XVIII в. проходили во Франции в обстановке бурных революционных событий. Феодализм разваливался. В 1792 г. Франция была провозглашена республикой. Людовик XVI лишился головы, а Кулон вскоре остался без работы. Дело в том, что революционные преобразования коснулись всех учреждений и институтов страны. В 1793 г. упразднена Парижская академия, а несколько позже Кулона уволили из Комиссии по мерам и весам из-за недостатка "ненависти к королям". Формулировка предельно точна, Кулон действительно в силу своих убеждений не принимал участия в революции. Оставшись не у дел, он отправился в собственное имение близ Блуа, расположенного примерно на 150 км южнее Парижа.

Сельская жизнь длилась четыре года. После буржуазного контрреволюционного переворота (1794) социальные преобразования быстро ликвидировались. В 1795 г. создано основное научное учреждение страны — Институт Франции, а через два года возобновила работу входящая в институт Парижская академия наук. Кулон снова стал академиком. Наполеон Бонапарт в 1800 г. назначил Кулона советником по делам техники и несколько позднее (1804) генеральным инспектором народного образования.

Научную работу исследователь вел постоянно. Много времени отдавалось преподавательской работе.

Умер Ш. О. Кулон 23 августа 1806 г. в Париже.

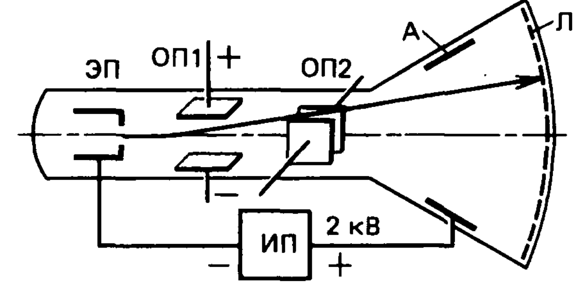
Кулон был прекрасным экспериментатором. Это качество и редкая способность к аналитическому мышлению позволили ему создать очень точный и чувствительный измерительный прибор, используя который сделали свои открытия Ампер, Ом и другие. С целью оценки значимости изобретения достаточно вспомнить, что простейший электрометр, в котором отклонение льняной нити от заряженного штыря фиксировалось с помощью шкалы, изобрел в 1745 г. русский ученый Г. В. Рихман (1711—1753), электроскоп под стеклянным колпаком с расходящимися соломинками создал А. Вольта (1781), а разновидности следующих электромагнитных приборов стали применяться через 40...50 лет после создания электрических весов.

Второе основное достижение исследователя — четкая формулировка закона Кулона. На основе использования этого закона конструируются все электровакуумные приборы, которые широко используются в бытовой и профессиональной аппаратуре. Приходится скрупулезно учитывать взаимодействие электронов в электронных пучках и их поведение в электрических полях, создаваемых различными электродами.

Для того чтобы составить общее представление о результатах воздействия электрических полей на электронный пучок, обратимся к рис. 12, на котором в упрощенном виде изображена осциллографическая электронно-лучевая трубка с электростатическим отклонением луча. В левой части горловины показана электронная пушка ЭП без нити накала и системы формирования узкого электронного луча. Дальше находятся две пары отклоняющих пластин ОП1 и ОП2. На коническую часть колбы нанесен кольцевой графитовый анод А, на дно колбы напылен люминофор Л. Напряжение источника анодного питания ИП принято равным 2 кВ — обычная величина для многих трубок.

Электронный пучок, вышедший из электронной пушки с

Рис. 12. Схематическое изображение осциллографической трубки



весьма малой скоростью, согласно закону Кулона будет одновременно притягиваться к одной из пластин пар ОП1 и ОП2, а также к аноду. Закон Кулона для силы, действующей на заряд, находящийся в однородном электрическом поле (допустим), имеет вид: $F = qE$, где $E = U/r$ — напряженность электрического поля, U и r — соответственно напряжение и расстояние между электродами, создающими поле.

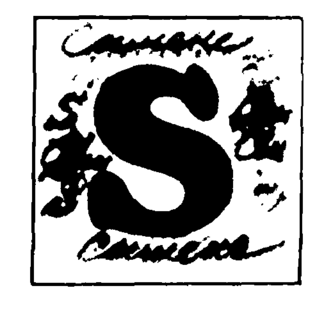
Расстояние между отклоняющими пластинами составляет 15 . . . 20 мм, наибольшее напряжение 150 . . . 300 В. Расстояние между пушкой и анодом 200 . . . 250 мм. Таким образом, напряженность поля между всеми электродами составляет примерно 10^4 В/м. Заряд электрона указан выше. После перемножения величин оказывается, что сила, действующая на отдельный электрон, равна $1{,}6 \cdot 10^{-15}$ Н.

Сила очень мала, но и масса электрона также мала. Поэтому при подлете электронов к экрану удается отклонить их от центра экрана на 100 мм и более. Так с помощью подачи необходимых напряжений на горизонтальную пару пластин ОП1 осуществляется вертикальная развертка изображения на экране осциллографа. Вторая пара пластин нужна для горизонтальной развертки.

Для того чтобы люминофор ярко светился, скорость падения электронов должна быть достаточно высока. Она определяется величиной напряжения анодного питания. В конкретном примере скорость при ударе составляет 27 000 км/с. На анод кинескопов цветных телевизоров подается напряжение 25 кВ. Скорость электронов достигает 96 000 км/с.

Хорошо работает закон Кулона!



10. ОМ, СИМЕНС

"Этого не может быть потому, что этого не может быть никогда", — утверждал ужасно преданный науке Войска Донского отставной урядник из дворян Василий Семи-Булатов в своем письме к ученому соседу, которое опубликовал А. П. Чехов. В отличие от упомянутого "гения" Альберт Эйнштейн заметил, что изобретения появляются тогда, когда все знают: быть не может, а один — нет. Это высказывание не только великого ученого, но и бывшего служащего патентного ведомства.

В жизни оправдываются оба мнения. Существуют, конечно, физические законы, устоявшиеся представления, обстоятельные гипотезы или просто предположения в отношении решения какого-либо вопроса, т. е. версии.

В жизни практикуется и расточительный "слепой" поиск, которым часто пользовался Т. А. Эдисон. Он в короткое время проделывал тысячи разнообразных опытов и находил нужное ему решение. Такой способ работы часто сравнивают с поиском иголки в стоге сена. Истина чаще всего рождается в процессе целеустремленной работы и не без споров . . .

Творческий процесс решения какой-либо задачи практически никогда не укладывается в рамки классического плана: обзор всего известного по избранной теме, разработка чего-то нового, внедрение в практику. В прошлом веке ощущался недостаток в информации (вспомним, что Дж. Генри узнал о законе Ома через восемь лет после его публикации), а сейчас специально созданные институты и более мелкие организации не в состоянии даже в виде аннотаций довести массу сведений, содержащихся в периодической печати, патентах, авторских свидетельствах, книгах и других изданиях до потенциальных потребителей этой информации. Стоит выразить сочувствие потребителю? И да, и нет! Если речь идет о промышленных изделиях, то соблюдение патентной чистоты обязательно; велик ущерб, если по результатам исследований научный работник или целый коллектив будет уличен в непреднамеренном плагиате. При решении частных, вспомогательных задач бывает проще, быстрее и дешевле заново "изобрести велосипед", чем заниматься многотрудными поисками аналогов.

Создание нового — всегда сомнение в известных решениях, анализ "сказок", путешествие в смежные области знаний, создание новых приборов, методик исследований и измерений, решение задач финансирования исследований, хозяйственного обеспечения и т. д. На этом этапе чрезвычайно ценен блеск ума исследователя, который (которые), довольствуясь минимумом необходимого, достигает эффектного результата.

Последняя стадия — внедрение в практику. Теоретические исследования должны быть признаны коллегами и в ряде случаев перепроверены какими-то другими способами. Результаты исследований необходимо представить в виде доступных для широкого использования инженерных расчетных соотношений. В конечном итоге (применительно к технике) появляется возможность создания новых или более высокоэффективных устройств и систем. И, наконец, последняя стадия внедрения — обеспечение пользователей реальной возможностью ощутить плоды всего содеянного. Последняя стадия часто оказывается самой коварной. Появляются оппоненты,

конкуренты и просто завистники, сказывается рутинность сознания определенного круга людей. В современной зарубежной практике известны случаи, когда фирмы специально утаивают ценные изобретения, пока уже выпускаемые изделия пользуются спросом на рынке. Нередко промышленность просто не готова к выпуску новой продукции.

Как правило, ни ранее, ни теперь ни один человек не в состоянии проделать весь комплекс работ от желания или идеи до вручения потребителю готового изделия. Двоих людей, фамилии которых указаны в названии главы, свела вместе не жизнь, а судьба названий физических единиц. Первый решил одну из основных задач электродинамики и предвосхитил решение некоторых других, второй выступил в качестве изобретателя и промышленника.

Г. Ому крупно не повезло на всех этапах творческой деятельности в области электродинамики. Только благодаря таланту и самоотверженности его имя получило запоздалую, но всемирную известность.

Георг Симон Ом родился в семье немецкого ремесленника-слесаря 16 марта 1787 г. Жил и учился в провинциальном городе Эрлангене. Жизнь не баловала юношу. Он рано лишился матери. После окончания гимназии в 1805 г. поступил в Эрлангенский университет, а в следующем году из-за материальных трудностей был вынужден бросить учебу и начать педагогическую деятельность в качестве преподавателя математики в одном из швейцарских воспитательных домов. Как и у многих других ученых, вся его последующая жизнь связана с преподавательской работой.

В 1811 г. Ом все же заканчивает обучение в университете с защитой докторской диссертации и остается там приват-доцентом. Опять финансовые трудности. Пришлось в 1813 г. перейти в реальное училище г. Бамберга. С 1817 г. по 1825 г. Ом работает старшим преподавателем математики и физики в реальной гимназии Кельна-на-Рейне, где в 1820 г. почти одновременно с А.-М. Ампером начинает заниматься исследованием гальванических цепей. К 1825 г. все основные эксперимен-

тальные работы оказались законченными, и автор для завершения и подготовки к публикации обобщающей рукописи переезжает из провинции в Берлин. Работа продвигается медленно, одновременно приходится преподавать в Берлинской военной школе. Наконец в 1827 г. монография под названием "Гальваническая цепь в математическом описании" опубликована.

Сколь значительный объем работ проделал и к каким выводам пришел Ом, достоверно неизвестно. В предисловии к названной книге он прямо пишет о стесненных материальных условиях и значительных трудностях, связанных с возможностью ознакомления с новой литературой. Поэтому автор указывает, что публикуется только та часть, которая может встретиться с меньшей конкуренцией.

Чувствуется, что предисловие написано со скромностью, присущей настоящим ученым, и одновременно ощущается какая-то слабая надежда на признание работ человека с трудно сложившейся жизнью. Увы, надежды не сбылись, трудности не уменьшились. Ом до конца жизни даже не мог позволить себе создать семью.

Обратимся к конечным результатам многолетних опытов исследователя. Гальванические элементы в качестве источника тока не подходили из-за постоянного падения напряжения в процессе разряда. Стабильный источник тока удалось создать в виде термопары, образованной висмутовым стержнем С и

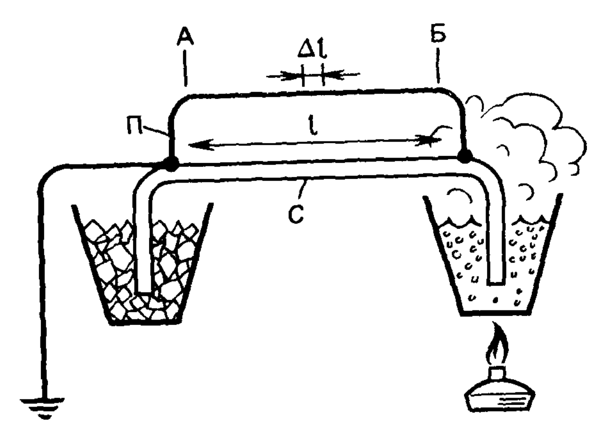


Рис. 13. Схематическое изображение установки Ома

замыкающей его концы медной проволокой П (рис. 13). Один из концов стержня помещался в сосуд с тающим льдом, а другой — в сосуд с кипящей водой. В такой цепи за счет контактной разности потенциалов согласно эффекту Зеебека (открыт в 1821 г.) возникает электрический ток, причем его величина определяется разностью температур мест спая разнородных проводников. В конкретном случае обеспечивался постоянный перепад на 100° С и, следовательно, постоянный ток в замкнутой цепи, что является необходимым условием чистоты проведения экспериментов.

Конечно, прибор Ома изображен схематично, но этого вполне достаточно для понимания методики проведения эксперимента. В действительности это была достаточно причудливая конструкция, в которой предусматривался даже оптический визир для регистрации угла отклонения магнитной стрелки. Из контрольно-измерительной аппаратуры, как сейчас принято говорить, исследователь располагал магнитной стрелкой и электроскопом.

Ом, как и его предшественники, не понимал физической природы электрического тока. В его работе встречаются механистические представления и аналогии с процессами передачи тепла. Представляется целесообразным остановиться на основных достижениях экспериментатора.

Во-первых, он установил, что при перемещении магнитной стрелки вдоль проводника П от отметки А до отметки Б угол ее отклонения не меняется. Вывод: в последовательной цепи, содержащей источник электродвижущей силы и соединительные провода, величина тока постоянна.

Во-вторых, перемещая щуп электроскопа от отметки А до отметки Б, он обнаружил, что его лепестки отклонялись на угол, пропорциональный длине провода, считая от заземленного конца. Вывод: через каждый малый участок провода Δl протекает ток, пропорциональный разности потенциалов на концах этого участка.

Ранее английский химик Гемфри Дэви (1778—1829) ввел понятие проводимости проводников, которая прямо пропор-

циональна сечению проводника и обратно пропорциональна его длине. Он построил ряд металлов в порядке уменьшения проводимости: серебро, медь, свинец, золото, цинк, олово, платина, палладий, железо.

Ом пошел дальше и ввел понятие удельной электропроводности σ (по современной терминологии), т. е. электропроводности цилиндрического проводника единичной длины и единичной площади сечения. Тогда выражение для силы тока, протекающего через малый отрезок провода Δl, будет иметь вид

$$I = \sigma S \frac{\Delta U}{\Delta l},$$

где S – сечение проводника; ΔU – падение напряжения на отрезке провода.

В результате Ом, математик по образованию, записал открытый закон в дифференциальной форме:

$$I = \sigma S \frac{dU}{dl},$$

где dU и dl – бесконечно малые приращения напряжения на бесконечно малой длине отрезка провода.

Практическая форма записи закона Ома для участка цепи постоянного тока гораздо проще. Просуммировав падения напряжения на малых участках Δl и сами участки между отметками А и Б, получим напряжение на этом участке U и общую его длину l. Новая запись закона:

$$I = \sigma S \frac{U}{l}.$$

Таким образом, величина $l/\sigma S$ полностью определяет ток в цепи. Она получила название сопротивления цепи R. Данный термин ввел Ом, а простейшая запись его закона для участка цепи принимает привычный вид:

$$I = U/R.$$

Столь подробное описание работы Ома не случайно. Открытый им закон без сомнения явился в электродинамике центральным и послужил основой для создания других. Он справедлив и для цепей переменного тока, если активное сопротивление R заменить комплексным сопротивлением участка цепи с учетом реактивных элементов (катушек и конденсаторов). Этот закон наиболее часто используется специалистами в области электросвязи.

Значимость проделанной с помощью примитивных средств работы тем более высока, что многие ученые уже были близки к решению проблемы. Например, упоминавшийся ранее русский физик В. В. Петров еще в 1802 г. указывал, что действие вольтова столба уменьшается с длиной замыкающей его проволоки и увеличивается с увеличением его сечения нагрев.

Из-за малого объема книги автор не имеет возможности рассказать о сопутствующих выводах Ома. В них содержатся основы двух законов Кирхгофа, сформулированных много позже. Датой открытия закона Ома считается 1826 г.

Книга была немедленно разослана многим европейским ученым, которые в большинстве своем промолчали или дали негативную оценку полученным результатам. Одними из первых подтвердили выводы Ома в 1833—1835 гг. русские ученые Э. Х. Ленц, Б. С. Якоби и немецкий физик и математик К. Ф. Гаусс. Их мнение не было принято во внимание. Что ж, так бывает. Весьма кстати вспомнить мысль № 66 современника Ома широкоизвестного директора Пробирной Палатки Козьмы Петровича Пруткова (1803—1863): "Многие вещи нам непонятны не потому, что наши понятия слабы; но потому, что сии вещи не входят в круг наших понятий". Нельзя не согласиться со столь авторитетным мнением.

Первое значительное признание труды Ома получили в Англии. Там в 1841 г. вышла его книга. В 1842 г. Г. Ом избран членом Лондонского королевского общества с присуждением медали Коплея за исследование законов электрического тока и утверждение, что сила тока в цепи равна сумме всех электродвижущих сил, деленную на сумму всех сопротивле-

ний. Полное признание первого закона электрической цепи затянулось еще на многие годы. Во Франции, например, книга Ома вышла в 1860 г. Да, затяжной оказалась последняя стадия работы — внедрение в практику, о чем говорилось в начале этой главы.

В 1833 г. Ом переезжает в Нюрнберг, где преподает в Политехнической школе, а в 1839 г. становится ее ректором. С 1849 г. и до конца жизни ученый трудится в Мюнхене в должности хранителя коллекций Баварской академии, являясь одновременно сначала экстраординарным (т. е. сверхштатным), а с 1852 г. ординарным профессором Мюнхенского университета. Умер 7 июля 1854 г.

После выхода в свет упомянутой ранее книги Ом до 1830 г. продолжал экспериментировать с электрическими цепями. Позднее занимался вопросами оптики и акустики.

Единица сопротивления названа в честь Г. Ома в 1881 г. на I Международном конгрессе электриков. Ом — сопротивление проводника, между концами которого при силе тока 1 А возникает напряжение 1 В.

При конструировании аппаратуры электросвязи используется, вероятно, большинство элементов периодической системы Д. И. Менделеева. Среди них есть своеобразные металлы — "короли". Уже первые электротехники широко использовали один из самых устойчивых к коррозии металлов — золото, самый электропроводный — серебро, самый мягкий — свинец, самый тугоплавкий — вольфрам, а также медь и олово. Со временем значение этих металлов еще более возросло.

Из сплавов золота делают волоски для точных измерительных приборов, часто золотятся внутренние элементы электровакуумных приборов. В обязательном порядке золотятся разъемные части кабельных соединений в аппаратуре, которая должна работать с высокой степенью надежности. По статистике известно, что большая часть отказов происходит в местах контактных соединений. Золотятся контакты электромагнитных реле, корпуса микросхем. Например, микросхема при массе 1,5 г содержит до 0,03 г золота.

Среди всех благородных металлов в электронике наибольшее применение нашло серебро. Серебрению подвергаются почти все коммутирующие элементы (разъемы, переключатели и т. д.) аппаратуры широкого применения, серебрятся даже монтажные провода, используемые в высокочастотной аппаратуре. На радиорелейных и радиолокационных станциях серебрятся волноводы, которые спаиваются из медных листов и пропаиваются припоем с содержанием серебра до 25 % (остальное медь и цинк). Титан паяется только чистым серебром. В особо важных случаях серебрению подвергаются даже некоторые конструктивные элементы. Для электропитания электронной аппаратуры широко применяются серебряно-цинковые аккумуляторы.

Свинец стал использоваться для покрытия морских кабелей связи в середине 40-х гг. прошлого века. Затем дошла очередь до подземных кабелей. Указанное применение полностью обусловлено свойствами свинца: высокими пластичностью и стойкостью в агрессивной среде. Свинец входит в состав всех оловянных припоев. Они обозначаются аббревиатурой ПОС-40, т. е. припой оловянно-свинцовый. Цифра соответствует процентному содержанию олова. Оказывается, что чистым оловом паять нельзя. При температуре ниже –13,2° С олово превращается в серый порошок, монтаж разваливается. Стабилизировать свойства припоя удалось только благодаря введению свинца. Обычная температура пайки составляет 250 . . . 260° С.

Из вольфрамовой проволоки изготавливаются нити накала электронно-вакуумных приборов. Высокая температура плавления металла (+3340° С) дает возможность эксплуатировать катоды при сравнительно низких температурах (+2000 . . . . . . 2360° С) и добиться высокой надежности приборов. Использовать вольфрамовые нити в качестве тела накала предложил известный русский электротехник Александр Николаевич Лодыгин (1847–1923).

Медь – основной материал электротехники. Он обладает примерно на 15 % худшей электропроводностью по сравнению

с серебром, но значительно дешевле. Медь, латунь, бронза используются при изготовлении большинства комплектующих изделий радиоэлектронной аппаратуры.

Следует отметить, что все перечисленные металлы являются остродефицитными и относятся к разряду стратегически важных. Запасы их в мире быстро истощаются. Особенно трудное положение складывается с оловом и серебром. Запасов олова должно хватить лишь на несколько десятилетий. Есть надежда, что фотография и кинематография сократят свои потребности в серебре за счет перехода на новые процессы. На эти цели расходуется тысяча тонн металла в год.

Обнадеживающие перспективы открываются при использовании палладия вместо золота. Удельное электрическое сопротивление (сопротивление одного метра провода сечением 1 $м^2$) указанных металлов колеблется от $1{,}42 \cdot 10^{-8}$ Ом · м у серебра до $5{,}6 \cdot 10^{-8}$ Ом · м у вольфрама. Столь низкое удельное сопротивление не позволяет делать компактные нагревательные приборы или проволочные резисторы (самые термоустойчивые). Потребовались новые материалы, и они давно созданы на основе сплавов. Константан (сплав меди, никеля и марганца), манганин (те же компоненты) и другие имеют удельное сопротивление $(0{,}4 \ldots 0{,}5)\, 10^{-6}$ Ом · м.

Резисторы различаются в основном по конструктивному исполнению, допустимой мощности рассеяния, номинальному сопротивлению и его допустимому отклонению в процентах. Проволочные резисторы изготовляются путем навивки проволоки на фарфоровую трубку или цилиндр с укрепленными на его концах токосъемниками. Они рассчитаны на мощность рассеяния 0,125 . . . 100 Вт при номинальном сопротивлении от долей ома до единиц мегаом.

Более широкое распространение получили непроволочные резисторы. Их мощность рассеяния колеблется от 0,125 до 5 Вт, а номинальное сопротивление лежит в пределах от единиц ом до десятков мегаом. Есть резисторы, сопротивление которых измеряется гигаомами. Непроволочные резисторы

изготавливаются подобно проволочным, только в качестве проводящего вещества на фарфоровый стержень наносится слой углерода, окиси металлов и т. д. Большинство резисторов указанных типов выпускаются с допустимым отклонением от номинального сопротивления на ±2, ±5, ±10 и ±20 %. Сверху на резисторы наносятся защитные покрытия.

Постоянные резисторы выпускаются в соответствии со строго ограниченной шкалой номиналов. Иногда в схемах требуется произвести индивидуальную подстройку режимов работы некоторых узлов. Для выполнения этой функции предназначены подстроечные резисторы. Они выпускаются проволочными и непроволочными в разном конструктивном исполнении. Монтаж таких резисторов производится непосредственно в схеме и регулируются они с помощью отвертки только 1 раз. Значительная часть подстроечных резисторов выполнена в виде подковки из изоляционного материала с проволочной намоткой или токопроводящим слоем, по которым передвигается подвижной контакт.

Переменные резисторы — деталь для многих более знакомая если не по устройству, то по частоте обращения к ним. Это большинство тех регуляторов, которыми мы пользуемся в процессе эксплуатации радиоприемников, телевизоров и т. д. По устройству они мало чем отличаются от подстроечных. Непременное условие — наличие длинной регулировочной оси, выводимой на панели управления, и более тщательная защита резистора от загрязнения. Зато функциональные характеристики переменных резисторов, т. е. зависимость сопротивления от положения подвижного контакта, могут быть весьма разнообразны. На рис. 14 показаны три наиболее часто встречающиеся зависимости. Здесь через $\alpha/\alpha_п$ обозначен отно-

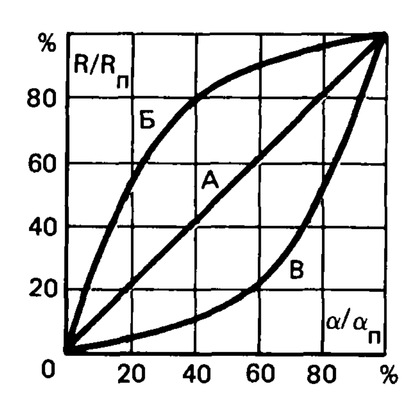


Рис. 14. Функциональные характеристики переменных резисторов

сительный угол поворота движка от его полного значения $\alpha_п$, а через $R/R_п$ – соответствующее отношение сопротивлений.

Для решения конкретной задачи необходимы резисторы со специфическими функциональными зависимостями. Так, резисторы с зависимостью типа А устанавливают в качестве регуляторов контрастности в телевизорах. Регулировка громкости производится резисторами с зависимостью типа В. Характер функциональной зависимости указывается последней буквой в маркировке изделия.

Резисторы – самые массовые компоненты радиоэлектронной аппаратуры. В мире их сейчас выпускается более 30 млрд. штук в год. Объем выпуска постоянно растет. Только отечественная промышленность выпускает для аппаратуры широкого применения около 200 типов резисторов. Недавно сотрудники НПО "Всесоюзный научно-исследовательский институт метрологии им. Д. И. Менделеева" добились крупного успеха. Им удалось создать сплав на основе хрома, ванадия и галлия, получивший название хровангал. У проволоки из этого сплава в диапазоне температур –60 . . . +200° С сопротивление меняется не более чем на 0,001 %. Такого еще не было! Сплав запатентован в развитых капиталистических странах.

Наряду с электрическим сопротивлением существует понятие электрической проводимости. Это – величина, обратная сопротивлению: $g = 1/R$. Она используется для теоретического анализа электронных схем, входит в ряд практических расчетов. Обозначение $Ом^{-1}$ не прижилось. Стали использовать название "обратный ом" и обозначение "мо". На Международной электротехнической комиссии в 1936 г. впервые было предложено назвать единицу электрической проводимости сименсом. Официальное название единица проводимости получила только на XIV Генеральной конференции по мерам и весам (1971).

В процессе инженерных расчетов очень удобно через проводимость рассчитывать сопротивление цепей, которые состоят из нескольких параллельно включенных резисторов, вне за-

висимости от вида используемого счетного прибора, не говоря уже о ручных вычислениях, в чем легко убедиться на примере. Пусть требуется рассчитать сопротивление цепи, состоящей из трех параллельно включенных резисторов R_1, R_2, R_3. Для ощущения объема расчета можно задаться тремя произвольными трехзначными цифрами и засечь время.

Прямая расчетная формула: $R = R_1 R_2 R_3 / R_1 R_2 + R_1 R_3 + R_2 R_3$.

Расчет через проводимость: $g = 1/R_1 + 1/R_2 + 1/R_3$; $R = 1/g$. В последнем случае времени затрачивается в 2 . . . 3 раза меньше.

Единица электрической проводимости названа в честь известного немецкого изобретателя и промышленника Сименса. Этот человек был во многом противоположностью нерешительному Ому.

Эрнст Вернер Сименс родился в семье бедного многодетного крестьянина-арендатора в г.Ленте близ Ганновера 16 декабря 1816 г. Получил домашнее образование. Дальнейшая учеба по экономическим соображениям была невозможна, и он в 16 лет отправился в Берлин, где поступил вольноопределяющимся в артиллерию. Три года ушло на самостоятельную подготовку к поступлению в Берлинскую инженерную артиллерийскую академию, которую Сименс закончил в 1838 г. Спустя год молодой офицер потерял отца и мать. Пришлось взять на себя заботу о содержании семи братьев и двух сестер.

Служба началась с занятий пиротехникой, но вскоре Сименс за участие в дуэли (в качестве секунданта) оказался в тюрьме. Зная об опытах изобретателя гальваностегии и гальванопластики (электролитическое осаждение металлов) известного русского физика и электротехника Бориса Семеновича Якоби (1801–1874), он устроил в камере лабораторию с целью изыскания способа золочения и серебрения недрагоценных металлов. Работа продвигалась успешно, но кончился срок заключения (шесть месяцев). Узник не обрадовался свободе и попросил дать ему возможность завершить опыты в тюрьме, чем, надо полагать, немало удивил и рассердил местное начальство.

Изгнанный из тюрьмы начинающий изобретатель завершил работы дома. На способ нанесения драгоценных металлов в 1841 г. был получен патент, который Сименс выгодно продал в Германии и Англии.

В начале 40-х гг. Сименс продолжает образование, слушая лекции в университете, участвуя в работе физического и политехнического обществ.

Экспериментальные работы не прекращались. Было сделано много самых разнообразных изобретений, причем есть достаточно обоснованные предположения, что в конце жизни это были изобретения сотрудников фирмы. В этой краткой биографической справке будут упомянуты отдельные работы, имеющие отношение к электросвязи.

В 1837 г. англичане В. Кук и Ч. Уитстон запатентовали первую работоспособную телеграфную систему. У каждого телеграфиста был приемный и передающий аппараты с циферблатами, на которых размещались буквы и цифры. Указателем служила единственная стрелка. При нажатии телеграфного ключа она перемещалась с одной буквы на другую. Принимающий телеграфист записывал сообщение и таким же образом передавал его на следующую станцию.

Английская телеграфная система проходила испытания в Германии в 1846 г. Сименс сразу обратил внимание на низкую скорость передачи, возможность появления ошибок при переприеме и громоздкость аппаратуры. Результат не замедлил сказаться. Приемный и передающий аппараты были объединены и параллельно подключались к линиям связи. Скорость передачи многократно возросла, ошибок стало меньше. Теперь стрелки на всех аппаратах двигались одновременно. Так появился синхронно-синфазный телеграфный аппарат, принятый в эксплуатацию прусской государственной телеграфной сетью.

Предприимчивый Сименс и механик Иоганн Георг Гальске на занятые деньги основали 25 октября 1847 г. ставшую потом знаменитой фирму "Сименс и Гальске" с целью массового производства контрольно-измерительной и связной аппаратуры.

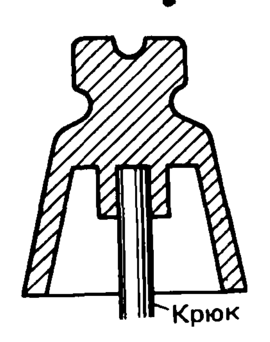


Рис. 15. Изолятор Сименса в разрезе

В 1842 г. в Англии появилась гуттаперча — универсальный изолятор проводов, применявшийся около 100 лет. Она изготовлялась из латекса — млечного сока некоторых растений, распространенных в основном на островах Юго-Восточной Азии. На провода она наносилась путем ручной обмазки в нагретом состоянии, а после остывания становилась малоэластичной. При подземной прокладке провода часто выходили из строя из-за отслоения изоляции. Сименс, первым предложивший защищать подземные провода или кабели в 1846 г. гуттаперчей, на следующий год создал станок, автоматически и непрерывно наплавляющий изоляционный материал. Проблем больше не было. Качество изоляции стало высоким.

Начиная с 1846 г. Сименс постоянно строит линии связи и постоянно их совершенствует. Скрутку проводов заменил пайкой. Заметив, что в сырую погоду связь ухудшалась, предложил в 1849 г. современный вид фарфорового изолятора (рис. 15) с постоянно сухим дном, благодаря чему утечка токов сигнала по поверхности изолятора сократилась во много раз. Верхний желоб предназначался для укладки линейного провода. Расположенная ниже кольцевая выемка служила для закрепления проволочной обвязки. Для защиты от грызунов изобретатель предложил бронировать подземные кабели нанесением внешней стальной проволочной оплетки, которая успешно применяется и в настоящее время.

Успешный бизнес позволил Сименсу в 1849 г. уйти в отставку. Он не знал, что через год в Европе появятся аппараты Морзе. Конкурировать с Морзе было бессмысленной затеей. Сименс поступил так же, как и несколько раз позднее: наладил серийный выпуск модели конкурента после ее серьезной модернизации.

Новым бездонным рынком сбыта оказалась Россия, в которой действовала только одна дальняя телеграфная линия Петербург — Москва и несколько безнадежно устаревших ли-

ний оптического телеграфа системы француза Клода Шаппа. Начавшаяся Крымская война (1853—1855) позволила Сименсу хорошо заработать. Было построено несколько тысяч километров телеграфных линий. Он проложил линию Петербург — Севастополь и одновременно участвовал в прокладке кабеля для англо-французского десанта по трассе Варна — Балаклава. Воистину, чего не сделаешь ради денег?!

Берлинское предприятие еле справлялось с заказами. Все оборудование, кроме столбов, было привозным. Техническое обслуживание на срок от 6 до 12 лет осуществлялось фирмой. На русских линиях Сименс впервые ввел реперфоратор и трансмиттер (1854). С помощью реперфоратора сообщение в виде отверстий заранее с произвольной скоростью наносилось на бумажную ленту, которая быстро протягивалась через трансмиттер (т. е. передатчик). За счет этого нововведения скорость передачи удалось увеличить с 40 до 400 слов в минуту.

После бурной деятельности в России в 1855 г. Сименс вернулся в Берлин, а в Петербурге открылось отделение фирмы, управляющим которого стал брат Карл. Через 50 лет фирма монополизировала в стране производство аппаратуры связи, сигнализации, измерительной аппаратуры, электродвигателей, прочего электротехнического оборудования и т. д. Фирма имела филиалы в Москве, Варшаве, Харькове и Одессе. С ней нельзя было не считаться. Показателен такой случай. В 1908 г., спасаясь от царской охранки, известный русский революционер Леонид Борисович Красин (1870—1926) нелегально перешел границу и поступил на работу в концерн Сименса в Берлине. Через два года руководство концерна предложило талантливому инженеру возглавить московское отделение. Но это грозило явным арестом! Однако ничего подобного не случилось. Под давлением концерна разрешение на работу в Москве было получено. Еще через три года Красин стал управляющим всероссийским филиалом концерна в Петербурге.

В последующие годы Сименс участвовал в прокладке кабелей через Красное море и Атлантический океан. Он пред-

ложил использовать динамометр и тормоз на стравливающем устройстве судов и впервые ввел постоянный контроль сопротивления укладываемых кабелей, что дает возможность сразу после обрыва прекращать укладку и достаточно точно устанавливать координаты места повреждения.

Для контроля сопротивления была необходима единица измерения. Сименс предложил эталон ома — ртутный столб высотой 106 см (уточненная величина) и сечением 1 мм^2 при температуре 0° С (1860). Одним из крупнейших предприятий братьев Сименс стала постройка в 1869 г. индоевропейской телеграфной линии Лондон — Бомбей — Калькутта. Она была оснащена аппаратурой фирмы и обслуживалась в течение 25 лет.

Многогранность деятельности Сименса поразительна. Его фирма выпускает ареометры, фотометры, генераторы, трамваи, различные телеграфные аппараты и многое другое. Вслед за "Сименс и Гальске" организуется фирма "Сименс и Шуккерт", которая занимается разработкой и производством сильноточной аппаратуры. Разнообразием интересов и успехами в предприятиях Сименс напоминает знаменитого американского изобретателя и предпринимателя Т. А. Эдисона.

В последние годы Сименс много занимался общественной деятельностью, улучшает пенсионное обеспечение сотрудников фирмы, делает большие пожертвования и добивается основания физико-технического института в Шарлоттенбурге, участвует в создании Центрального метрологического института. Он был избран доктором философии Берлинского университета (1872), членом Берлинской (1872) и членом-корреспондентом Петербургской (1882) академий наук, а также многих других организаций, в 1888 г. удостоен дворянского звания.

Скончался Э. В. Сименс в Берлине 6 декабря 1892 г. от воспаления легких.

Эдисон прислал на похороны венок, который едва могли нести четыре человека, с надписью: "Моему другу Вернеру фон Сименсу".

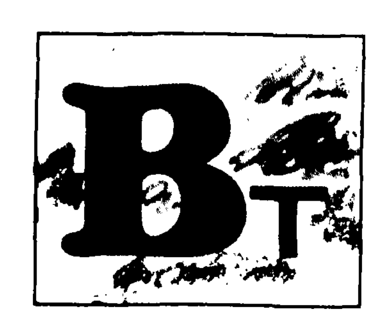
В настоящее время концерн "Сименс" (ФРГ) стал крупнейшим электротехническим объединением Европы и одним из крупнейших в мире. В 1982 г. на предприятиях было занято 324 000 сотрудников. Годовой оборот составил 43 097 млн. марок. Продукция производится и продается в 125 странах мира. Сам концерн скромно претендует на пятое место в мире среди объединений, выпускающих электротехническую и электронную продукцию.

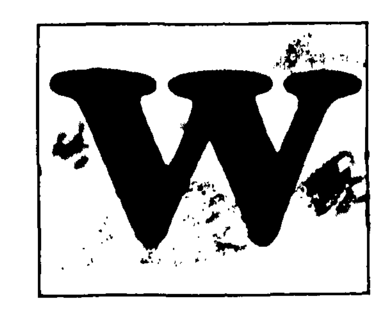
Среди продукции концерна значатся: различные электронные компоненты, вычислительная техника, техника связи, электростанции, электросиловая и осветительная техника и многое другое, причем в очень широком ассортименте. Бо́льшая часть продукции (28 %) приходится на средства связи, далее следует электросиловое оборудование (26 %), а всего около 50 % оборота концерна приходится на изделия в области электроники.

Концерн "Сименс" проводит научно-исследовательские работы самого различного характера. На его предприятиях занято 51 800 инженерно-технических работников. Существенное внимание уделяется подготовке кадров: профессиональные знания приобретают 11 700 обучающихся и 1300 студентов-практикантов.

Детище Э. В. Сименса превратилось в мощнейший многофункциональный концерн, который теперь принято называть транснациональной корпорацией. На его зарубежных предприятиях работают 104 300 человек.

8 Зак. 1173





11. ВАТТ

В середине XVIII в. английская буржуазия повсеместно внедряла машинное производство. Англия первой на нашей планете вступила на путь промышленного переворота. Для приведения в действие любой машины нужен источник механической энергии. Тогда были известны только три таких источника: мускульная сила людей, животных, а также энергия падающей воды. Первые два источника достаточно маломощны, третий не везде есть и не всегда им в полную меру можно воспользоваться. Известно, например, что крупным гидроэлектростанциям в засушливые годы даже при наличии очень больших водохранилищ не хватает воды.

В Англии возникла острая потребность в универсальном мощном двигателе, который можно было бы устанавливать в любом месте. Эту актуальнейшую задачу в 1784 г. успешно решил англичанин Джеймс Уатт, создав совершенную паровую машину. К электротехнике и тем более к электросвязи это, на первый взгляд, отношения не имело и иметь не могло, так как первый источник тока — элемент Вольты — появился в 1800 г. В действительности все обстоит иначе. С появлением мощного надежного двигателя резко увеличилась производительность труда на промышленных предприятиях, возросли потребности в сырье, появилась необходимость в организации широкомасштабного сбыта продукции. Начало XIX в. ознаменовалось созданием скоростного по тем временам железнодорожного транспорта с паровозной тягой. Понадобились надежные и быстродействующие средства связи. Первая пригодная для эксплуатации телеграфная система англичан Ч. Уитстона и В. Кука запатентована в 1837 г.

Уатт имеет непосредственное отношение к установлению единицы мощности. Создав новую машину, он решил оценить ее производительность в сравнении с лошадью – самым распространенным двигателем того времени. Проведение аналогии было целесообразно и в рекламных целях. По средним оценкам лошадь лондонских пивоварен достаточно длительное время могла работать с производительностью 33000 фунто-футов в минуту. В пересчете на секунду такая мощность получила название "лошадиной силы". Единица, конечно, весьма условная и неудобная, но фирма "Болтон и Уатт" поставляла первые машины во все страны – всемирное признание было обеспечено. Надо пологать, что решение об учреждении единицы мощности в 1784 г. Уатту далось нелегко. В это же время он выступил за введение в Англии десятичной системы и за создание единой для всего мира системы единиц физических величин.

Желание изобретателя и ученого сбылось с принятием системы СИ. "Лошадиная сила" ликвидирована, введена общая единица мощности – ватт, т. е. мощность, при которой работа, равная 1 Дж, совершается за 1 с. Название единицы впервые принято на II Международном конгрессе электриков в 1889 г.

В электротехнике и электросвязи ватт – привычная единица мощности, а вот в механике она приживается с трудом. Непревычно! Открыв, например, журнал "Наука и жизнь" за 1985 г. на страницах рубрики "Автосалон", можно заметить, что мощность двигателей автомобилей указывается в лошадиных силах и только в скобках даются киловатты. Завидный консерватизм!

В электросвязи часто приходится заботиться о соблюдении нужных температурных режимов деталей и аппаратуры в целом. Во всех справочниках по элементной базе обязательно указываются допустимые мощности рассеяния резисторов, транзисторов, электронных ламп и т. д. По абсолютной величине рассеиваемая мощность на различных элементах может составлять от нескольких микроватт до десятков и сотен киловатт. В технических паспортах на все виды аппаратуры

обязательно указывается потребляемая мощность. Энергопотребление крупных радиостанций достигает нескольких мегаватт. Кроме того, в технических паспортах на различную аппаратуру всегда указывается отдаваемая в нагрузку мощность. Ниже приводятся примерные мощности в нагрузке различных средств электросвязи.

Вещательная радиостанция, МВт	1 ... 2
Судовой радиопередатчик, Вт	10 ... 1000
Усилитель звуковой частоты бытовой, Вт	0,5 ... 100
Спутник связи (телевизионный ретранслятор), Вт	40 ... 300
Радиорелейная станция, Вт	0,25 ... 5
Усилитель на одной интегральной микросхеме, мВт	5 ... 20

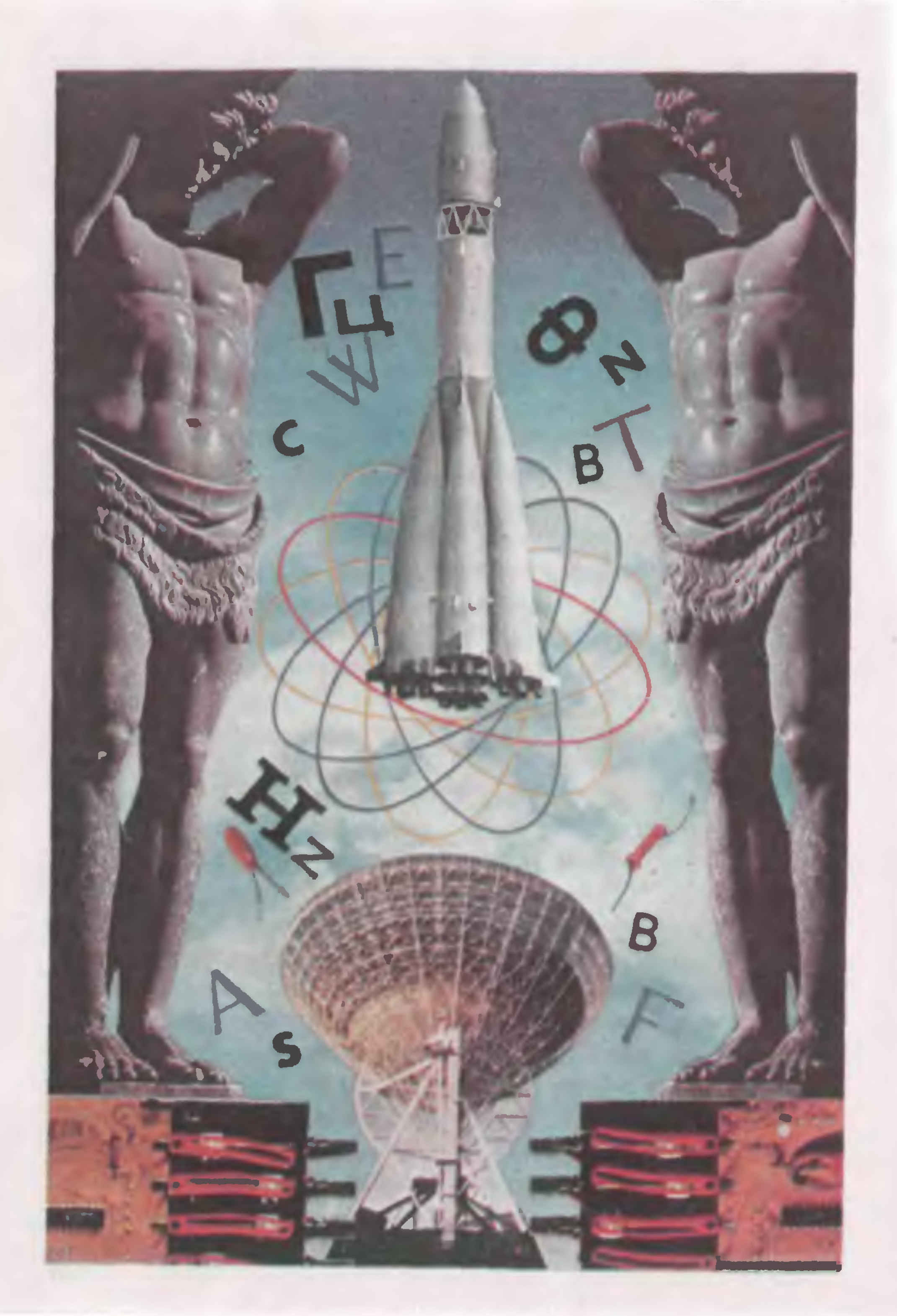
Прямые измерения мощности производятся ваттметрами нескольких типов (используются различные физические явления). В конкретном частотном диапазоне предпочтительно использовать один из них.

Джеймс Уатт родился в маленьком шотландском городке Гриноке 19 января 1736 г. Отец Джеймса был местным судьей и одновременно занимался торговлей, строил дома, владел небольшой верфью, работал столяром, медником, слесарем, кузнецом, ремонтировал музыкальные инструменты, изготавливал морские навигационные инструменты. Сын, помогавший отцу, овладел многими специальностями. По окончании местного колледжа восемнадцатилетний юноша отправился в Глазго, где стал учеником в мастерской по ремонту оптических и точных механических приборов. Однако его собственная квалификация оказалась выше, чем требовалось. Последовал переезд в Лондон, непродолжительное ученичество в часовой мастерской и более длительная учеба у механика и астронома Джона Моргана. Не отличавшийся крепким здоровьем Джеймс заболел и в 1756 г. вернулся к родителям. После краткого отдыха снова Глазго, работа в университетской мастерской. Основательно занимавшийся в школьные годы самообразованием молодой мастер часто встречается с преподавателями в университете и в доме своего дяди профессора Мьюирхэда.

По воспоминаниям самого Уатта опыты с паровыми машинами начались в 1761 или в 1762 г. Для ознакомления с состоянием дел в этой области пришлось изучить немецкий и французский языки. Одновременно Уатт с компаньоном содержали мастерскую по ремонту предметов быта и всевозможных музыкальных инструментов, получившую широкую известность в городе и позволившую одному из ее владельцев много времени уделять экспериментам.

Настоящая книга не предназначена для описания всех работ ученых и изобретателей, по именам которых названы единицы физических величин, и особенно работ, не имеющих прямого отношения к электросвязи. Поэтому в отношении исследований Уатта можно лишь заметить, что в отличие от своих многочисленных предшественников он очень серьезно, по-научному подошел к решению конкретной технической задачи. После основательного изучения действующих машин с КПД 0,1 . . . 0,6 % были проведены опыты по определению свойств пара, выявлены причины потери тепла в машинах, подобраны нужные уплотнители и смазки, проконтролирован расход пара и воды. Первый этап работ закончился подсоединением к макету машины конденсатора для отработанного пара, и КПД возрос в 2,7 раза.

Постройка опытного образца машины требовала больших денег, которые согласился предоставить шотландский промышленник Джон Ребек. В 1769 г. Уатту был выдан патент на нее. По контракту с Ребеком треть прибыли от продажи машин получал изобретатель. Машина длительное время строилась и доводилась, а Уатт зарабатывал на жизнь, занимаясь геодезическими съемками, проектированием и постройкой каналов. Финансовое положение оставляло желать лучшего. В 1771 г. Уатт получил через русского посла в Лондоне официальное приглашение на работу в Россию, но ответил вежливым отказом. Наступил 1774 г., ставший роковым для изобретателя. Весной Ребек обанкротился, осенью умерла жена. Позднее пришло второе приглашение в Россию. Вероятно, Уатт согласился бы на поездку, но его отговорил крупный бирмингемский промышленник Мэтью Болтон.



Болтон, бывший кредитор Ребека, давно присматривался к Уатту. В одном из писем к нему промышленник прямо заявил, что конечная цель должна заключаться в постройке предприятия, которое снабжало бы весь мир машинами всех возможных размеров. По договору, составленному Болтоном в 1776 г., Уатт должен был изготовлять чертежи и руководить работой. Все остальное – забота предпринимателя за две трети доходов. После серии экспериментов и усовершенствований в 1784 г. изобретатель изготовил машину, в которой в отличие от известных двигателей пар передвигал поршень в обе стороны цилиндра, т. е. изобрел машину двойного действия. Мощность возросла вдвое!

Вот как отзывался К. Маркс о самой главной в жизни изобретателя работе: "Великий гений Уатта обнаруживается в том, что в патенте, который он получил в апреле 1784 г., его паровая машина представлена не как изобретение лишь для особых целей, но как универсальный двигатель крупной промышленности"[1].

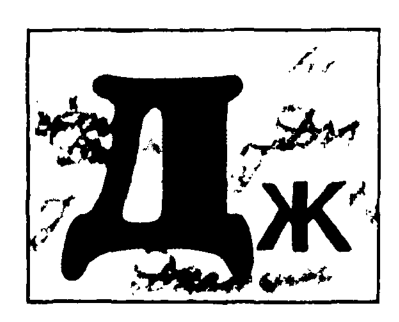
Свою изобретательскую деятельность Уатт закончил в 1785 г. Фирма "Болтон и Уатт" исправно приносила высокие прибыли. Скончался Уатт 19 августа 1819 г.

Работы Джеймса Уатта получили исключительно высокую оценку. В 1784 г. он был избран членом Эдинбургского королевского общества, а через год – членом Лондонского королевского общества. Парижская АН избрала его своим членом в 1804 г. В 1806 г. университет Глазго присвоил Уатту ученую степень доктора права.

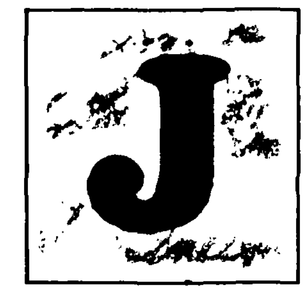
Благодарные соотечественники воздвигли изобретателю памятники в Хэндсворте, Глазго и Вестминстерском аббатстве. По значимости достижений современники сравнивали Уатта с Архимедом. В 1932 г. в Англии учреждена Золотая международная медаль Джеймса Уатта, которая присуждается за крупные успехи в области машиностроения. Ею в 1967 г. награжден советский академик И. И. Артоболевский.

---

[1] Маркс К., Энгельс Ф.//Соч. 2-е изд. – Т.23. – с. 389.



12. ДЖОУЛЬ



В СИ для измерения энергии и работы применяется универсальная единица джоуль, равная работе, совершаемой при перемещении точки приложения силы 1 Н на расстояние 1 м в направлении действия силы. Единица энергии принята на II Международном конгрессе электриков (1889). Практическое применение этой единицы в области электротехники и электросвязи не состоялось по нескольким причинам. Во-первых, она мелка, во-вторых, энергию исторически принято измерять часовым расходом электрической энергии, т. е. в киловатт-часах, в-третьих, все счетчики электроэнергии проградуированы в киловатт-часах. Внесистемная единица 1 кВт · ч = $3{,}6 \cdot 10^6$ Дж. Этой единицей пользуется каждый из читателей, ежемесячно заполняя счет на оплату за израсходованную электроэнергию.

Единица измерения энергии названа по имени английского физика Д. П. Джоуля, который занимался конструированием электрических приборов и много экспериментировал с ними. На основании этих опытов он подтвердил закон сохранения энергии. Одним из важных достижений следует считать открытие закона (1841), позднее получившего название закона Джоуля—Ленца. Согласно этому закону количество тепла, выделяемого при прохождении тока через проводник, пропорционально квадрату тока, сопротивлению проводника и времени.

Примерно в это же время отмеченный закон был открыт русским физиком и электротехником Э. Х. Ленцем (1804—1865), но последний несколько запоздал с публикацией своей работы.

Закон Джоуля—Ленца широко применяется при расчете параметров электронагревательных приборов, среди которых в технике связи наиболее широко применяются термостаты и

хорошо всем известные паяльники самых разнообразных конструкций. Не обойтись без этого закона и проектировщикам аппаратуры связи. Как известно, от температурного режима во многом зависит ее надежность, да и вообще работоспособность.

Несомненный интерес с точки зрения связистов представляет открытый и исследованный в 1852—1862 гг. Джоулем совместно с Томсоном эффект адиабатического расширения газов (т. е. без теплообмена с окружающей средой). Эффект Джоуля—Томсона используется для получения низких температур и, в частности, для сжижения газов и их разделения. В главе, посвященной Томсону, сообщалось, что жидкие азот, водород, гелий применяются для охлаждения ряда электронных устройств. В настоящее время ученые в ряде стран работают над созданием сверхпроводящих кабелей для передачи электроэнергии и сигналов связи. Они должны охлаждаться жидким гелием.

Явление сверхпроводимости было открыто голландским физиком Х. Камерлингом-Оннесом в 1911 г. Он обнаружил, что ртуть становится сверхпроводящей при 4,2 К. Такую температуру можно достичь, используя лишь дорогостоящий жидкий гелий. Поэтому широкого практического применения явление не нашло. Только в 1986—87 гг. удалось разработать металлокерамические материалы, у которых сверхпроводимость наступает при 90 . . . 100 К. Теперь стало возможным для охлаждения использовать дешевый жидкий азот.

Во всех развитых странах мира ведутся интенсивные работы по созданию и исследованию новых сверхпроводящих материалов. Заманчиво существенно увеличить быстродействие ЭВМ, повысить скорость передачи информации в системах связи, избежать потерь на линиях электропередачи, создать сверхсильные магниты и т. д.

Для всех перечисленных и других устройств потребуется много жидкого азота, производимого на установках, работающих по принципу использования эффекта Джоуля—Томсона.

Джеймс Прескотт Джоуль родился в г. Солфорде близ Манчестера 24 декабря 1818 г. Отец — потомственный пивовар, владелец большого пивоваренного завода. Слабое здоровье не позволило Джеймсу учиться в школе до 15 лет, зато потом судьба одарила его прекрасным учителем, которым стал Джон Дальтон (1766—1844) — известный английский физик и химик, член Лондонского королевского общества. Джеймс основательно изучил химию, физику и математику, познал искусство экспериментальных исследований. Самостоятельную творческую работу начал в двадцатилетнем возрасте с изобретения электродвигателя. Отец помог оборудовать в помещении пивоваренного завода лабораторию, где потом были проведены многие тысячи тонких экспериментов. В 1840 г. открыто явление насыщения при намагничивании магнитопроводов. Сейчас разработчики электронной аппаратуры обязательно учитывают возможность насыщения сердечников трансформаторов во избежание искажений передаваемых сигналов. В 1843—1850 гг. Джоуль экспериментально определил механический эквивалент теплоты, измерил теплоемкость газов.

После смерти отца Джоуль вместе с братом Бенджамином стал совладельцем пивоваренного завода, но в 1854 г. потрясенный смертью жены продал свою долю и целиком посвятил себя научным исследованиям. Его работы получили широкое признание. Еще в 1850 г. Джоуль был избран членом Лондонского королевского общества. Всего он опубликовал 97 научных трудов, причем 20 из них совместно с У. Томсоном. На отдых удалился в шестидесятилетнем возрасте и тогда же (1778) за большие научные достижения получил пожизненную пенсию от английской королевы. Умер Д. П. Джоуль 11 октября 1889 г. в местечке Сейл, которое расположено почти у границы современного Манчестера. Биографических сведений об этом ученом в отечественной литературе почти нет.





13. ГЕНРИ

Катушки в явном или неявном виде есть в каждом устройстве электросвязи. Прежде всего следует обратить внимание на силовые трансформаторы. Первичными источниками электропитания может быть сеть переменного тока, аккумулятор, сухие химические элементы, электрический генератор постоянного или переменного тока. Для обеспечения работоспособности сложной аппаратуры требуется несколько постоянных и переменных напряжений. Эта задача решается с помощью вторичных источников электропитания в виде различных выпрямителей и преобразователей, в состав которых обязательно входит трансформатор. Катушки являются составной частью колебательных контуров радиоприемников и телевизоров, различных реле и магнитных пускателей, всех без исключения электромоторов и т. д.

Протекающий через катушки ток создает магнитный поток, величина которого зависит от конструкции катушки, ее размеров, числа витков, наличия сердечника. Коэффициент пропорциональности, связывающий магнитный поток Ф с током I, получил название индуктивности, т. е. $L = \Phi/I$. Единица индуктивности генри, названная в честь американского физика Дж. Генри, принята на II Международном конгрессе электриков в 1889 г.

При протекании через катушку переменного тока ее реактивное сопротивление X_L увеличивается с возрастанием частоты сигнала: $X_L = 2\pi f L$. Совместно с паразитными емкостями схемы могут образовываться паразитные колебательные контуры. Возникают частотные искажения сигналов, не исключено самовозбуждение схем. Умело используя катушки,

можно корректировать искажения. строить автогенераторы и т. д.

Принцип работы трансформаторов, связанных колебательных контуров, синхронного и асинхронного электродвигателей переменного тока основан на использовании явления электромагнитной индукции. Оно было почти одновременно и совершенно независимо друг от друга открыто американцем Дж. Генри и англичанином М. Фарадеем. Между ними оказалось много общего. Оба выросли в нуждающихся семьях, не получили систематического образования и всю жизнь занимались самообразованием, оба стали талантливыми экспериментаторами и сделали фундаментальные открытия.

Джозеф Генри родился 17 декабря 1797 г. в семье шотландских переселенцев, обосновавшихся в Олбани (230 км севернее Нью-Йорка). Тогда это был девятый по величине город США. Отец — извозчик. В раннем детстве Джозефа отправили к бабке в сельскую местность, где он пас скот, работал у местного торговца и учился кое-как в местной школе. Однажды, как утверждает М. Уилсон, гоняясь за кроликом, тринадцатилетний мальчик попал в подземный ход под церковью, из которого выбрался в библиотеку с коллекцией прекрасных романов. Знакомство с ними серьезно отразилось на его сознании.

После смерти отца в 1811 г. Джозеф вернулся к матери и сразу пошел работать в местный театр. Был рабочим сцены, подмастерьем, занимался в театральном кружке, играл, писал пьесы. В результате последовало приглашение на профессиональную сцену. Тут Генри заболел, а в руки ему попала популярная книга "Лекции по экспериментальной физике, астрономии и химии". Захотелось узнать больше. В 1819—1822 гг. Генри в качестве вольнослушателя посещал Олбанскую академию, но не решился расстаться с театром, работал учителем, давал частные уроки. Свидетельства об окончании академии обнаружить не удалось. В 1824—1826 гг. Генри выступал в родном городе с лекциями по физике, химии, занимался геодезическими работами на трассе шоссейной дороги, а 1826 г.

стал поворотным в судьбе будущего ученого. Во-первых, его пригласили в качестве профессора физики и математики в Олбанскую академию. Во-вторых, состоялось знакомство с опытами Ампера. Двумя годами позже он писал: "Предмет электромагнетизма . . . представляет собой самое плодоносное поле для открытий".

В 1827 г. Генри начал работу с изобретения изолированной шелком медной проволоки[1]. В несколько модернизированном виде провода марки ПЭЛШО (провод эмалированный лакированный в шелковой оплетке) выпускаются до настоящего времени и широко используются.

До Генри электромагниты, начиная с изобретателя В. Стерджена (1783—1850), делали из мягкого железа в виде стержня или подковы, на лакированную поверхность которых накладывалась обмотка из оголенного провода в один слой. С помощью таких электромагнитов удавалось получить подъемную силу до 750 Н. Американский изобретатель сначала сделал многослойную обмотку на подковообразном сердечнике, а затем поместил на сердечнике девять отдельных катушек и довел подъемную силу до 3200 Н. В 1831 г. удалось сделать магнит с усилием 9800 Н. Немыслимая тогда цифра!

Теперь нам известно, что подъемная сила электромагнита прямо пропорциональна числу ампер-витков, т. е. числу витков, умноженному на силу протекающего тока. Генри до 1834 г. не знал даже закона Ома. Обмотки на каркасе — катушки стали непременным атрибутом многих электромагнитов, реле, дросселей, трансформаторов.

---

[1] Так указывается в современной литературе. На самом деле это было повторное изобретение. По имеющимся в распоряжении автора сведениям первым применил шелковую оплетку проводов мюнхенский анатом С. Т. Земмеринг (1755—1830) при попытке создания в 1811 г. электролитического телеграфа. Участие в испытаниях первых изолированных проводов принял упоминавшийся ранее русский изобретатель П. Л. Шиллинг, который находился в Мюнхене в составе русского посольства. Шиллинг тогда же предложил усовершенствовать изоляцию путем ее пропитки озокеритом ("горный воск" — природный нефтяной битум).

К концу 1831 г. электромагниты Генри использовались для обогащения руды на двух металлургических заводах штата Нью-Йорк.

Изобретатель интуитивно чувствовал, что другая область применения сильных электромагнитов — электросвязь. Многие ученые, в том числе Земмеринг, Вольта, Ампер, пытались создать электрический телеграф. Не хватало энергии для приведения в действие оконечного устройства. Генри в 1831 г. построил линию длиной 350 м, а годом позже довел ее длину до 1600 м. Электромагнит срабатывал и заставлял звучать колокольчик. К сожалению, на этом опыты прекратились.

Личная жизнь ученого сложилась удачно. После продолжительных ухаживаний не очень чтимый бедный жених в 1830 г. женился на кузине (двоюродная сестра) Гарриет, с которой прожил долгую счастливую жизнь. Они вырастили четверых детей. Зато на службе отношения с коллегами, как говорится, оставляли желать лучшего. Слишком новаторскими оказались работы Генри. Серьезного конфликта не получилось, поскольку ученый принял приглашение занять место профессора физики в Принстонском колледже, ставшем позднее известным учебным и научно-исследовательским центром. Однако в 1832 г. Принстон даже не имел статуса города.

Возможностей научных контактов в Принстоне почти не было, и нетерпеливый профессор наладил тесные связи с учеными ближайшего крупного города — Филадельфии, где его встретили с должным уважением.

Летом 1832 г. Генри открыл (официально) явление электромагнитной индукции и самоиндукции. На подковообразном железном сердечнике помещались две катушки. К одной был подсоединен гальванометр, стрелка которого отклонялась, если к другой обмотке подключалась или отключалась гальваническая батарея. Иначе говоря, ток в первичной обмотке создавал магнитный поток, который индуцировал электрический ток во вторичной обмотке. Позднее было установлено, что напряжение на выводах вторичной обмотки зависит от соотношения числа витков катушек. Состоялось изобретение трансформатора переменного тока.

До практического использования трансформатора было еще далеко. Только в 1876 г. русский электротехник и изобретатель П. Н. Яблочков (1847–1894) получил патент на силовой трансформатор и использовал его для питания изобретенных им дуговых (нерегулируемых) источников света.

Горькое разочарование постигло экспериментатора. Оказалось, что М. Фарадей почти на год опередил его. Генри жалуется другу-издателю: "Мне следовало печатать все это раньше . . . И откуда мне было знать, что кто-то другой по ту сторону Атлантического океана занимается той же проблемой?"

С сообщением *о явлении самоиндукции* Генри *удалось опередить* заокеанского конкурента на две недели.

В 1835 г. Генри изобрел электромагнитное реле – прибор, с помощью которого за счет малой энергии управляющего сигнала можно подключать к управляемым цепям мощные источники энергии. Думается, нет смысла описывать примитивные приборы изобретателя. Целесообразно познакомиться с современным герконовым реле. Оно применяется в качестве коммутационного прибора на квазиэлектронных (лат. quasi – как будто) автоматических телефонных станциях и в других случаях. Электрические контакты ЭК, выполненные в виде двух упругих полосок из магнитомягкого материала, запаиваются в вакуумную стеклянную колбу СК (рис. 16). Между полосками существует зазор. Так устроен геркон (сокращение от слов герметизированный контакт). Геркон помещается внутрь катушки К. При пропускании через катушку слабого управляющего тока полоски намагничиваются и притягиваются друг к другу, образуя электрический контакт. Контакты геркона не окисляются, не обгорают, т. е. прибор свободен от недостатков классических реле.

Явление самоиндукции иногда может использоваться с положительным эффектом, но часто оно приводит просто к беде. Отмеченное обстоятельство удобно проиллюстрировать на примере. На рис. 17 изображен усилительный прибор Ус, источник питания ИП и нагрузка в виде обмотки реле L. При поступлении на вход каскада управляющего импульса в его

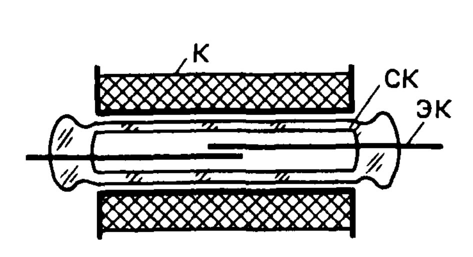



Рис. 16. Геркон

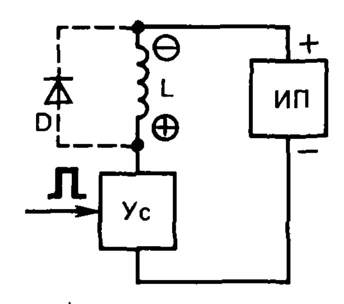


Рис. 17. Схема защиты усилительного прибора

выходной цепи устанавливается ток I. По окончании импульса на обмотке возникает ЭДС самоиндукции $U_L = LI/\Delta t$, полярность которой согласно закону Ленца указана на рисунке в кружках. Здесь Δt – время включения усилительного прибора. Пусть, например, L = 100 мГн; I = 0,1 А; Δt = 1 мс. Тогда ЭДС самоиндукции составит 10 В, т. е. соизмерима или выше напряжения источника питания. Оказывается, что теперь к усилительному прибору приложено суммарное напряжение: ЭДС самоиндукции плюс напряжение источника питания. Опасно! Может произойти межэлектродный пробой. С целью предотвращения аварии обмотка реле шунтируется диодом D. Когда усилитель работает, диод закрыт. Он открывается только в случае появления ЭДС самоиндукции и шунтирует катушку.

По совету Генри электромагнитное реле применил С. Морзе для трансляции телеграфных сигналов. Таким образом удалось решить проблему передачи сигналов на неограниченные расстояния. Первая практически пригодная к эксплуатации телеграфная система стала реальностью. Генри можно по праву считать одним из создателей первого вида электросвязи — телеграфии.

1837 г. Ученый впервые отправился в дальнее восьмимесячное путешествие. Предстояло посетить Англию, Францию, Бельгию, побывать на родине родителей в Шотландии. Цель поездки: установление личных контактов с европейскими учеными, приобретение литературы и оборудования. Генри

встретился с многими выдающимися людьми, работал в их лабораториях, участвовал в совместных экспериментах, слушал лекции. В Лондоне состоялось несколько встреч с Фарадеем, между ними сложились дружеские отношения.

1838 г. Генри установил факт электромагнитной индукции через кирпичную стену и возможность экранирования электромагнитного поля железными листами. Вопросы экранирования электромагнитных полей в настоящее время очень важны. Слишком много источников помех стал использовать человек в повседневной жизни. Иногда особо чувствительные приборы помещаются в несколько экранов. Например, их помещают в медный экран, а сверху размещают экран из пермаллоя (материал с большой магнитной проницаемостью).

1842 г. Открыт колебательный характер разряда конденсатора. Математическое описание его позднее сделает Томсон.

Исследования в области электромагнетизма Генри прекратил в 1846 г. после назначения скретарем-директором Смитсоновского института в Вашингтоне, где занимался вопросами общего руководства, а в научном плане сосредоточил внимание на метеорологии.

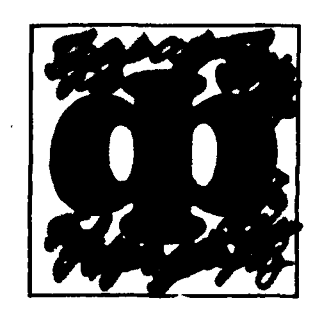
Почестями ученый не был осыпан. К концу жизни он числился доктором права трех университетов, с 1863 г. — член Национальной академии наук США, в 1868 г. избран ее президентом. С целью упрочения связей с учеными Старого Света в 1870 г. Генри предпринимает вторую поездку в Европу. Семидесятичетырехлетний руководитель двух крупных научных учреждений получает пост начальника Службы маяков США.

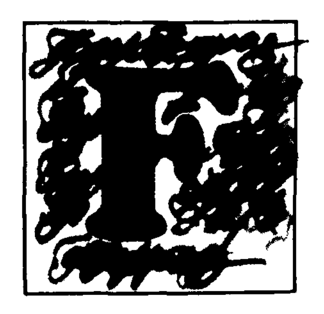
Всю жизнь Генри материально и морально поддерживал многих исследователей, потерявших веру в свои силы. Среди них числится и изобретатель телефона А. Белл. После смерти ученого 13 мая 1878 г. в Вашингтоне осталось 2083 долл. и страховой полис на 4000 долл. "Я, однако, не добивался патентов на мои исследования, — писал он в конце жизни, — равно как не домогался вознаграждения за свои труды, результатами которых могли свободно пользоваться все . . . " Свои

труды Генри публиковал в журналах США, которые в Европе не читались. Янки тогда не принимались за серьезных конкурентов. Да и в родной стране имя ученого известно немногим. Только в 1964 г. Смитсоновский институт приступил к изданию всех работ, связанных с жизнью и деятельностью ученого. Памятники Генри находятся в Вашингтоне и Олбани, его скульптура установлена в главном читальном зале Библиотеки конгресса.

В настоящее время в связи с проведением общей технической политики, направленной на микроминиатюризацию радиоэлектронной аппаратуры, разработчики стараются применять как можно меньше трансформаторов и других моточных изделий. Их нельзя сделать средствами микроэлектроники. Эти трудоемкие в изготовлении изделия, имеющие достаточно большие массу и габариты, сами являются источниками и приемниками электромагнитных полей. К сожалению, желаемого не всегда можно достичь. Трансформаторы нашли широкое применение в системах проводной электросвязи. Дроссели индуктивностью от единиц до сотен микрогенри выпускаются серийно, подобно резисторам и конденсаторам. В США начался серийный выпуск миниатюрных катушек доя интегральных микросхем с индуктивностью 0,06 . . . 10 мкГн..Они выполняются в виде куба с гранью около 2 мм.

Современная аппаратура работает на частотах до нескольких десятков и сотен мегагерц. Приходится считаться с индуктивностью соединительных проводов и даже с индуктивностью выводов интегральных схем. Новейшие сверхскоростные интегральные схемы (ССИС) вообще не имеют выводов, их токосъемные площадки непосредственно подпаиваются к токоведущим шинам печатных плат.





14. ФАРАД

Элементная база современной радиоэлектроники достаточно разнообразна. Наибольшим тиражом выпускаются резисторы, второе место прочно отводится конденсаторам. Только в нашей стране изготовляется около 300 типов конденсаторов широкого применения. Конденсаторы используются в качестве элементов связи между каскадами фильтров, колебательных контуров, корректирующих цепей.

Единица электрической емкости — фарад, т. е. емкость конденсатора, между обкладками которого при зарядке 1 Кл возникает электрическое напряжение 1 В. Названа и принята единица по имени известного английского физика и химика М. Фарадея на I Международном конгрессе электриков (1881).

На практике в большей части случаев используются конденсаторы емкостью от нескольких пикофарад (10^{-12} Ф) до нескольких тысяч микрофарад (10^{-6} Ф). О емкости 1 Ф в учебниках сообщается, что это очень большая емкость и о ней говорить не стоит. Например, такова емкость уединенного шара размером больше Земли или плоского конденсатора с расстоянием между пластинами 10 мм и площадью каждой пластины 1100 км^2 (больше площади Москвы!). Устарели сведения. Начиная с 1983 г. некоторые фирмы приступили к серийному выпуску электролитических конденсаторов с пористым диэлектриком емкостью 1,2 Ф на рабочее напряжение 5 В. Пока это самое емкое хранилище энергии — 6 Кл.

Конденсаторы бывают постоянные, переменные, подстроечные, низковольтные, высоковольтные, низкочастотные и т. д. Существует достаточно много классификационных признаков, согласно которым производится отбор того или иного



F
J
C
E
B
W
E
A
W
B
F
J

конденсатора для установки в конкретное устройство. Если конденсатора с нужными параметрами подобрать не удается, устанавливают несколько соответственно включенных конденсаторов. Например, если рабочее напряжение конденсатора меньше действующего в конкретном устройстве, то соединяют последовательно два конденсатора. Бывает, что конденсаторы не могут работать во всем используемом диапазоне частот. Не беда. Можно включить параллельно два конденсатора: один с оксидным диэлектриком, обладающим низким сопротивлением переменному току в области низких частот, а второй с диэлектриком из слюды или керамики, обладающим тем же свойством в области высоких частот.

Все, конечно, видели конденсаторы переменной ескости, с помощью которых настраиваются радиоприемники. Похожие по принципу действия элементы используются для настройки телевизоров и другой аппаратуры. По сути это плоские конденсаторы. Степень перекрытия пластин регулируется оператором. При конструировании аппаратуры разработчикам приходится сталкиваться с явными противоречиями: 1) конденсатор должен располагаться возможно ближе к панели управления; 2) конденсатор нельзя удалять от тех узлов схемы, к которым он подключен; 3) чрезвычайно трудно осуществлять автоматическую настройку конденсатора.

Отечественная промышленность выпускала радиоприемник высшего класса "Фестиваль" с автоматической подстройкой частоты, для чего пришлось поставить электродвигатель. В последнее время все большее применение находят варикапы — полупроводниковые диоды, работающие всегда в запертом режиме. При изменении напряжения запирания меняется емкость *p–n* перехода.

На рис. 18 изображен параллельный колебательный контур, подсоединенный к произвольной схеме. Емкость конденсатора C выбирается во много раз больше емкости варикапа D. Резонансная частота контура определяется индуктивностью катушки L и емкостью варикапа. Управляющее напряжение с регулятора $R_р$ подается через резистор R с большим сопро-

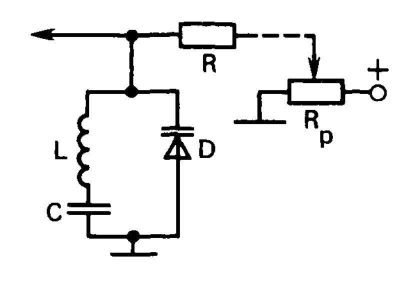


Рис. 18. Колебательный контур с варикапом

тивлением, практически не влияющим на переметры контура. При таком схемном решении регулятор может быть удален сколь угодно далеко от объекта регулировки. Просто осуществляется и автоматическая регулировка частоты.

В современных радиоприемниках и телевизорах применяется электронная настройка и переключение диапазонов.

Первые серьезные исследования свойств конденсаторов провел М. Фарадей, он ввел понятие"диэлектрик", указал,что разделяющая среда в конденсаторе поляризуется.

Майкл Фарадей родился в семье лондонского кузнеца 22 сентября 1791 г. Читать и писать научился в начальной школе. В 13 лет поступил учеником к владельцу книжной лавки и переплетной мастерской. Разносил заказы, торговал газетами и читал переплетаемые книги, отдавая предпочтение книгам по электричеству и химии. К прочитанному относился критически, познанные закономерности старался проверить опытным путем. Небольших денежных средств, выделяемых братом, не хватало, поэтому многие приборы пришлось делать самому из подручных материалов. Так формировался искусный экспериментатор, который до конца жизни не знал ни алгебры, ни геометрии.

Другой формой самообразования стали посещения сначала случайных, а затем тематических публичных лекций в открытом в 1800 г. Британском Королевском институте. Увлекся лекциями знаменитого химика Гемфри Дэви (1779–1829) и после нескольких попыток занял должность ассистента у полюбившегося учителя (1813).

Вскоре молодому ассистенту представился случай познакомиться с лучшими учеными континента. Дэви с супругой собрались в путешествие по охваченной войной Европе. Постоянный камердинер отказался от рискованной поездки, и его

место было предложено более смелому Фарадею. Опасения оказались напрасными. Хотя Наполеон I — гроза европейских монархов, терпевший тогда поражение за поражением, ввел континентальную блокаду, поездка знаменитого профессора состоялась. Наполеон I всегда старался выступать как покровитель наук: часто посещал заседания Института Франции (соответствует нашей Академии наук), встречался и переписывался с известными учеными и некоторых из них пытался ввести в состав правительства.

С осени 1813 г. до весны 1815 г. Фарадей, выполняя функции полупомощника и полуслуги, познакомился с многими учеными, встречался с Ампером, Вольтой и др. "Я научился понимать свое невежество, — писал он другу, — стыжусь своих разнообразных недостатков и желаю воспользоваться теперь случаем исправить их".

По возвращении в Англию молодой исследователь успешно работал в области химии, начал печатать статьи. Достижения отмечены его избранием в 1824 г. членом Лондонского королевского общества. Затем уже известный ученый назначается директором лаборатории химии (1825) и избирается профессором (1827). Однако главные успехи были впереди. Все началось в 1821 г. Летом Фарадей женился на подруге детства Сарре Бернард. "Это обстоятельство, — как он писал сам о себе, — содействовало его земному счастью и здоровью его ума". Тогда же примерно он узнал об опытах Эрстеда и Ампера по отклонению магнитной стрелки близ провода с током. Прошло лишь несколько месяцев, и в конце декабря экспериментатор доказал существование кольцевых магнитных силовых линий, т. е. практически сформулировал правило буравчика. В дневнике появляется запись новой задачи: "Превратить магнетизм в электричество".

Десять лет непрекращающихся экспериментов потребовалось для решения сложнейшей для того времени задачи. Первый успех зарегистрирован в дневнике 29 августа 1831 г. Для опыта использовался кольцевой сердечник из магнитомягкого

железа с двумя изолированными обмотками. Выводы одной из них замыкались проводником, возле которого располагалась магнитная стрелка. В момент подключения к другой обмотке гальванической батареи стрелка отклонялась. Методика эксперимента была выбрана такой же, как и у Генри, только сердечник имел другую форму. Результаты опытов опубликованы в конце 1831 г.

Затем Фарадей изобрел простейшую динамомашину, ввел понятие "индукция" и "магнитные силовые линии", заключил, что ток в проводниках возникает только при их пересечении. Результаты опытов свидетельствовали о существовании нового вида материи. Но как это доказать? Экспериментальная техника и теоретические разработки в области электричества и магнетизма находились в зачаточном состоянии. Итак, доказательств нет, а приоритет потерять не хочется. Тогда Фарадей схитрил и 12 декабря 1832 г. сдал на хранение в архив королевского общества знаменитое письмо. В письме сообщалось, что оно написано с целью закрепления даты открытия в случае его экспериментального подтверждения. Суть открытия:

электрическая индукция распространяется подобно волнам с конечной скоростью;

световые явления не отличаются от электрической индукции;

для анализа указанных явлений следует использовать теорию колебаний.

Фарадей открыл, пользуясь современной терминологией, явление электромагнитной индукции и интуитивно предсказал существование электромагнитных волн. Подтвердить существование радиоволн удалось Генриху Герцу только через 55 лет. Отданный на хранение конверт обнаружили более чем через 100 лет — в 1938 г. Гениальное предвидение оправдалось!

В последующие годы ученый занимался электрохимией, открыл ряд законов, ввел термины "электрод", "анод", "катод", "электролит", "электролиз", "анион", "катион". В ре-

зультате исследования явления самоиндукции он высказал мысль о переходе магнитной энергии в электрическую (1834). Далее последовали опыты с электростатической индукцией. Обнаружилось, что диэлектрик в конденсаторе поляризуется, а емкость зависит от вида диэлектрика. Были проведены измерения диэлектрической проницаемости различных материалов.

Наряду с проведением интенсивных экспериментальных работ Фарадей консультирует промышленников, читает лекции в Королевском институте, делает доклады, проводит еженедельные собрания ("пятницы"), где обсуждаются актуальные вопросы: строительство, применение каучука, меры по предупреждению гниения древесины, производство стальных перьев и т. д. Находится время на знакомство с художественной литературой, репертуаром театров.

В середине 1830-х гг. стало сказываться переутомление. С 1834 г. Фарадей начал постепенно отказываться от деятельности, которая, по его мнению, мешала научной работе. Перестал посещать торжественные приемы, проводить экспертизы проектов и делать химические анализы, отказался от должности президента Королевского института, перестал читать лекции и в 1841 г. прекратил деятельность "пятниц". Здоровье резко ухудшилось. Друзья уговорили взять отпуск и отдохнуть в Швейцарии. Поездка оказала благотворное воздействие, но слабеющему здоровью уже трудно было помочь. Особые огорчения приносила ухудшающаяся память.

В 1845 г. Фарадей изображал электрические и магнитные поля с помощью силовых линий. Таких рисунков сохранилось много. Тогда же ему удалось с помощью магнитного поля и поляризатора (призма Николя) повернуть плоскость поляризации света. Связь магнетизма со светом установлена!

Последние экспериментальные работы проводились в конце 40-х и первой половине 50-х гг. В основном исследовались магнитные свойства различных тел. Две статьи (1854 и 1855) посвящены вопросам передачи телеграфных сигналов по под-

водным и подземным кабелям. Как раз в это время пионеры строительства кабельных линий столкнулись с серьезными трудностями. Семидесятилетний Фарадей закончил творческую деятельность написанием знаменитой книги "История свечи". Она переведена на все европейские языки и многократно переиздавалась. Во всем мире ее принято считать классическим образцом научно-популярной литературы.

К концу жизни ученый стал членом почти всех академий, высших научных обществ Европы, в том числе и почетным членом Петербургской АН (1830). Однако почести не мешали ему быть исключительно трудолюбивым и скромным человеком, чуждым жажды наживы и чувства зависти. Фарадей без колебаний отказался от дворянского звания (предлагался титул пэра), президентства в королевском обществе, председательских мест в других организациях, от крупных гонораров, предлагавшихся промышленниками, и даже от государственной пенсии.

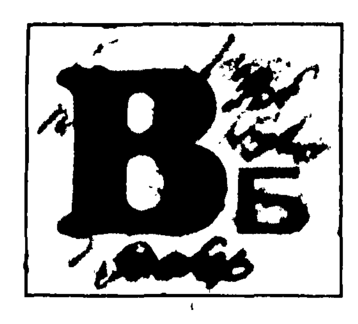
Чувствуя свою немощность, Фарадей в 1858 г. покинул Лондон и поселился в местечке Хэмптон Корт близ столицы в подаренном королевой доме. Дом был закрыт для всех, кроме его ученика Джона Тиндаля (1820—1893), ставшего впоследствии известным физиком. Скончался Майкл Фарадей 25 августа 1867 г., пережив на год жену. Похоронен в Вестминстерском аббатстве.

Каждая пара проводов, провод и корпус какого-либо устройства, пара расположенных рядом деталей и даже пара электродов в усилительном приборе (транзисторе, электронной лампе) образуют элементарные конденсаторы. Емкость таких конденсаторов принято называть паразитной емкостью схемы. Через них, как и через конденсаторы-детали, проходит переменный ток, т. е. ток обрабатываемого сигнала. Подобные "утечки" особенно опасны в области высоких частот, поскольку с возрастанием частоты сигнала реактивное сопротивление конденсаторов падает по линейному закону. Возникают искажения частотных характеристик. Часть сигнала с

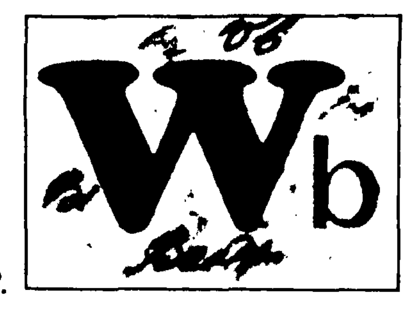
выхода отдельных каскадов снова попадает на их вход или на вход целых узлов, блоков аппаратуры. Возникает паразитная обратная связь. Особенно опасна положительная паразитная обратная связь, которая реализуется, если приходящий из цепи обратной связи сигнал совпадает по фазе с входным. Возникает возможность самовозбуждения. Разработчикам приходится тратить много сил и средств на предотвращение этого опасного явления.

Таким образом, конденсаторы конденсаторам — рознь. Одни надо умело использовать, а с другими — не менее умело бороться. Если паразитные емкости не удается уменьшить до допустимых пределов за счет экранирования и рационального монтажа, то приходится применять специальные схемотехнические решения.

Существуют также конденсаторы, о назначении которых по внешнему виду изделия трудно догадаться. Пример — кинескоп. Все видели этот обязательный пока атрибут телевизора. На его экране не только формируется наблюдаемое нами изображение — кинескоп одновременно является конденсатором нагрузки для высоковольтного выпрямителя. Внутренняя поверхность стеклянной колбы кинескопа алюминируется (это анод), и к пленке алюминия через контакт подсоединяется провод от выпрямителя. Внешняя поверхность конуса колбы покрывается графитовой краской, имеющей хороший электрический контакт с корпусом телевизора. Получается элементарный конденсатор.



15. ВЕБЕР.



В радиоэлектронной аппаратуре многие приборы и устройства содержат магнитные цепи, состоящие из совокупности тел и областей пространства, в пределах которых локализовано создаваемое постоянными магнитами или катушками с током магнитное поле. Примерами могут служить описанные ранее приборы магнитоэлектрической системы (см. рис. 8), электродинамические громкоговорители (см. рис. 10), трансформаторы и т. д. В пределах магнитопроводов и воздушных зазоров магнитный поток в первом приближении можно считать однородным. Магнитный поток аналогичен силе тока в электрической цепи. Изменяющийся по величине магнитный поток Ф в соответствии с законом электромагнитной индукции в сцепленной с ним электрической цепи вызывает появление тока, и через нее проходит соответствующее количество электричества.

Вебер — единица магнитного потока, при убывании которого до нуля в сцепленной с ним электрической цепи сопротивлением 1 Ом через поперечное сечение проводника проходит количество электричества 1 Кл.

Если вспомнить определение Кулона, то окажется, что вебер — магнитный поток, при убывании которого до нуля в электрической цепи выделяется 1 Дж или, иначе, на сопротивлении 1 Ом падает напряжение 1 В.

Для выяснения реальных величин магнитных потоков, с которыми приходится иметь дело при проектировании аппаратуры связи, удобно рассмотреть конкретный пример. Большая часть аппаратуры питается от сети переменного тока частотой f = 50 Гц и содержит силовой трансформатор. Создан-

ный протекающим по первичной обмотке током магнитный поток Ф пересекает контур витков вторичной обмотки и индуцирует на ее выводах электродвижущую силу E. Эта величина пропорциональна числу витков W, а количество электричества, прошедшее через обмотку за 1 с, пропорционально максимальной величине потока Ф и числу изменений этого потока от нуля до максимума за 1 с. Ток синусоидальной формы в течение периода четырежды претерпевает указанные изменения. Следовательно, $E = k4fW\Phi$, где k — коэффициент пропорциональности (учет различных потерь). Автор рассчитал магнитные потоки применительно к силовым трансформаторам телевизоров с потребляемой мощностью 100 . . . . . 200 Вт. Они составили примерно (1 . . . 2) · 10^{-3} Вб.

Вебер — единица крупная. Даже у трансформаторов, рассчитанных на мощности в несколько киловатт, магнитный поток не превышает десятков милливебер.

Единица магнитного потока названа по имени немецкого физика Вильгельма Эдуарда Вебера, родившегося 24 октября 1804 г. в семье профессора теологии Виттенбергского университета Михаила Вебера. Он и его братья получили прекрасное воспитание. Двое впоследствии стали профессорами физиологии Лейпцигского университета. В 1814 г. из-за закрытия университета в Виттенберге семья переехала в Галле. Здесь Вебер закончил школу, университет и на 22-м году жизни получил докторскую степень. Первую научную работу о волнообразном движении жидкости совместно с братом Эдуардом опубликовал в 1825 г. С 1827 по 1831 г. занимает должность приват-доцента Галльского университета.

В 1831 г., поворотном в жизни молодого преподавателя, пришло приглашение возглавить кафедру физики Геттингенского университета от тогда уже знаменитого математика, члена многих академий К. Ф. Гаусса (1777—1855). Последний оказал определяющее влияние на направление творческой деятельности и судьбу Вебера.

Совместные работы начались в области изучения земного магнетизма. Исследования ставились фундаментально. Специ-

ально разрабатывались методы и аппаратура для геомагнитных измерений, в 1833 г. была основана первая геомагнитная обсерватория. Для связи обсерватории с физическим институтом пришлось построить телеграфную линию протяженностью более 2,5 км. Электромагнитный телеграф собственной конструкции исправно работал, хотя по эксплуатационным характеристикам не годился для сетей общего пользования.

Успешно начатая работа внезапно оборвалась со смертью в 1837 г. английского и ганноверского короля Вильгельма IV. Вступивший на престол Эрнст-Август начал правление с отмены конституции. Естественно, многие были возмущены возвратом абсолютной власти. Вебер и еще шесть профессоров университета отказались принять присягу. Расплата последовала незамедлительно — все лишились кафедр.

Вебер оказался безработным и пробыл в этом качестве шесть лет, занимаясь частными исследованиями. Жил, пользуясь материальной помощью Гаусса, экспериментировал на собранные пожертвования. Вместе с Гауссом в 1836—1841 гг. выпустил шеститомник общих работ. Нужда заставила Вебера переехать к братьям в Лейпциг, где он преподавал еще шесть лет (1843—1849). Только после буржуазно-демократической революции 1848—1849 гг. уже известному ученому удалось вернуться в Геттинген.

Еще в начальном этапе работ в области геомагнитных измерений (1832) Гаусс убедился, что с единицами физических величин дело обстоит не слишком благополучно: их много, между ними нет четкой взаимосвязи. Гаусс предложил установить основные единицы (миллиметр, миллиграмм, секунда), а все остальные сделать производными. Система единиц получила название абсолютной. Вебер распространил ее действие на электродинамику, введя единицу силы тока и предложил четыре способа ее измерения. Первые сообщения о новой системе относятся к 1846 г., последнее к 1855 г. В целом образовалась абсолютная система электрических и магнитных единиц.

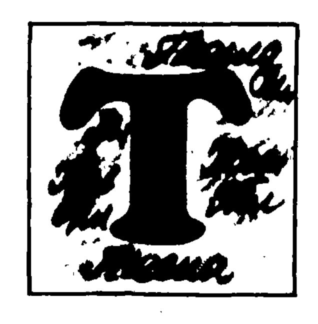
Неослабное внимание ученый уделял делу создания стандартных измерительных приборов и различных эталонов. По этому вопросу велась обширная переписка с иностранными учеными. О серьезности его постановки можно судить по письму Вебера русскому электротехнику Б.С. Якоби (1801—1874), датированному 1857 г. В письме, в частности, приводились соображения о способе изготовления эталона сопротивления. Он писал, что одного эталона мало, из того же материала и тем же механиком должны быть изготовлены дубликаты, проверяемые тем же наблюдателем. Меру необходимо изготовлять в тысячах экземплярах из одного сорта проволоки. Ничего не скажешь — подход фундаментальный! Так сейчас и делают.

Научные интересы Вебера были достаточно разнообразны. В процессе постройки телеграфной линии проверялся закон Ома и один из законов, получивший впоследствии название по имени Кирхгофа, велись работы по выяснению физической природы электричества. К 60-м гг. был сделан вывод об атомистической природе электричества и разработана механистическая теория, сформулирован закон взаимодействия движущихся зарядов. Известен ряд других работ. Последняя печатная работа вышла в 1880 г.

В целом работы Вебера при жизни не получили всеобщего признания, а позднее удалось найти более правильные и удобные решения. Личная жизнь сложилась не очень удачно, он не был женат, домашнее хозяйство вела племянница.

Сведений об ученом осталось мало. Известно, что он был иностранным членом Петербургской академии наук (1853). Скончался Вильгельм Вебер 24 июня 1891 г. в Геттингене. В городе установлен общий памятник Гауссу и Веберу — ученым, которые почти четверть века плодотворно сотрудничали и достигли выдающихся результатов.





16. ТЕСЛА

Трансформаторы, с какими нам чаще всего приходится встречаться в быту, — достаточно крупногабаритные и тяжелые устройства. Масса трансформатора, на который сделана ссылка в предыдущей главе, составляет 4 . . . 5 кг. Почему так много? Только потому, что для концентрации магнитного потока в цепи, имеющей для него малое сопротивление, в качестве магнитопровода используется трансформаторная сталь. Кажется, выход прост: надо увеличить плотность магнитного потока $B = \Phi/S$, где S — площадь поперечного сечения магнитопровода. Эта единица получила название магнитной индукции и измеряется в теслах.

Тесла — магнитная индукция, при которой магнитный поток сквозь поперечное сечение площадью 1 м^2 равен 1 Вб.

В свою очередь магнитная индукция зависит от свойств магнитного материала и напряженности магнитного поля $H = IW/l$, где I — ток в обмотке, W — число витков, l — длина средней магнитной линии в магнитопроводе. Естественно, что в принципе H можно увеличивать сколько угодно. Однако делать этого не следует. Как только магнитные моменты большинства атомов ферромагнетика будут сориентированы, возрастание индукции прекратится. Магнитные свойства материала исчерпаны, наступает так называемое насыщение магнитопровода или сердечника. На рис. 19 приведена магнитная характеристика трансформаторной стали. Явление насыщения четко наблюдается при напряженности магнитного поля, превышающей 0,02 А/м. Больше ее увеличивать нет смысла: наступает технический предел эксплуатационных свойств сердечника. Индукция в магнитопроводе не может превышать



10 Зак. 1173

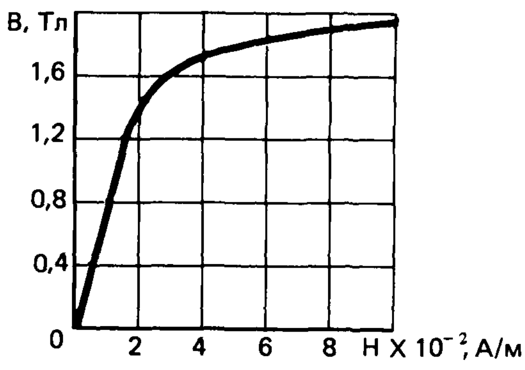


Рис. 19. Магнитная характеристика трансформаторной стали

1,4 Тл. Вот почему при необходимости повышения мощности трансформатора приходится для увеличения магнитного потока непременно увеличивать сечение магнитопровода и, следовательно, все остальные его размеры.

В цветном телевизоре "Рубин 714" на долю трансформатора приходится около 14 % всей массы. Третью часть массы мощных стереофонических усилителей составляет масса трансформатора.

Есть ли выход из создавшегося положения? Да, и только один. Необходимо уменьшать величину магнитного потока и соответственно массу магнитопровода, а с целью сохранения величины отдаваемой мощности увеличивать частоту изменения напряжения, подводимого к трансформатору. Так поступали давно. Например, частота бортовой сети летательных аппаратов и других подвижных средств составляет 400 Гц. Дальше ее увеличивать нельзя, появляются специфические трудности.

В последние годы начали внедряться в эксплуатацию новые импульсные источники вторичного электропитания. Принцип их работы прост. Переменное напряжение частотой 50 Гц с помощью полупроводниковых диодов преобразуется в постоянное, затем снова в переменное, но уже с частотой 16 ... ... 40 кГц и подается на малогабаритный трансформатор. С вторичных обмоток трансформатора переменное напряжение снова преобразуется в постоянное и подается для питания электронных схем.

Может возникнуть вопрос: а окупается ли усложнение блока питания? Конечно! Материалоемкость снижается в 2 ... 3 раза, КПД повышается на 10 ... 15 %. Подсчитано, что пере-

ход на выпуск только телевизоров с импульсными источниками электропитания позволит сэкономить свыше 20 тыс. тонн высококачественной трансформаторной стали и не менее 5 . . . 6 тыс. тонн дорогостоящего и дефицитного медного провода.

Единица магнитной индукции названа по имени выдающегося изобретателя, который впервые использовал переменный ток промышленной частоты и токи высоких частот Николы Теслы. Единица утверждена Международной электротехнической комиссией в Мюнхене 26 июля 1956 г.

Никола Тесла родился 10 июля 1856 г. в семье сельского священника. Его родное село Смеляны теперь находится на территории Социалистической Республики Хорватии, входящей в состав Социалистической Федеративной Республики Югославии. В 1864 г. семья переехала в маленький городок Госпич, где Никола блестяще закончил реальное училище. Отличался быстротой устного счета, тягой к технике, изучал немецкий, французский и итальянский языки. Закончил высшее реальное училище в Карловце за три года вместо положенных четырех (1874) и получил степень бакалавра. Учебу продолжил в Высшей технической школе Граца (Австрия), так как в Хорватии не было высших учебных заведений. Увлекся электротехникой и уже тогда задумал создать двигатель переменного тока. После окончания школы (1878) пытался продолжить учебу в Парижском университете, но из-за тяжелого материального положения, сложившегося после смерти отца (1878), поступил в 1881 г. на службу в Венгерскую государственную телеграфную компанию в качестве инженера-электрика.

В Будапеште Тесла трудился, не покладая рук. Плодами напряженной творческой деятельности стали первые изобретения в области телефонной техники. Однако старая мечта о создании электродвигателя переменного тока не давала покоя. И вот в один прекрасный день наступило озарение. (Так часто бывает у изобретателей. Иногда решения приходят даже во сне.) Он понял, что двигатель переменного тока надо строить

на основе использования вращающегося магнитного поля. Понадобилась хорошая материальная база. После первых экспериментов жаждущий творческих успехов молодой изобретатель с рекомендательным письмом Тивадара Пушкаша (изобретатель первого телефонного коммутатора, бывший сотрудник лаборатории Т. А. Эдисона) приступил к работе в парижском отделении Континентальной компании Эдисона (1882). Он строил электростанции в Париже и Страсбурге, совершенствовал машины Эдисона, а короткие передышки использовал для создания модели электродвигателя переменного тока. В конце концов модель заработала! Успехи Теслы как строителя, организатора, изобретателя нашли широкое признание.

Но, опять это но... Правление компании не выплатило обещанных денег, никто не хотел финансировать постройку электромоторов. Униженный и подавленный изобретатель под напором коллеги-американца согласился поехать к Эдисону. В рекомендательном письме к Эдисону американец отмечал: "Я знаю двух великих людей — один из них вы, второй — этот молодой человек". Однако молодому "великому" явно не везло. На вокзале в Париже у него украли бумажник, скудный багаж, билеты на поезд и пароход до Нью-Йорка. Уходящий поезд Тесла догнал (мелочи хватило расплатиться за самый дешевый билет до Гавра), в порту убедил капитана, что билет потерял. Весной 1884 г. на пирс нью-йоркского порта вышел голодный пассажир с четырьмя центами в кармане.

Год Тесла, не считаясь со временем, проработал в нью-йоркском отделении компании Эдисона. Ремонтировал электродвигатели и генераторы постоянного тока, разработал 24 разновидности машины Эдисона за обещанную премию 50 тыс. долларов. Эдисон высоко оценил способности нового инженера, однако на вопрос насчет обещанной премии ответил, что Тесла еще плохо понимает американский юмор. Эдисон был жестокий капиталист и немало гордился этим.

Весной 1885 г. обиженный Тесла покинул своего работодателя и два года бедствовал, перебиваясь случайными заработками. Дела стали поправляться после изобретения электричес-

кой лампы (1887) для освещения улиц и основания компании по ее использованию. Возобновились опыты с электродвигателями переменного тока. 12 октября 1887 г. Тесла подал в Патентную комиссию США две исторические заявки с описанием системы передачи электроэнергии с помощью переменного тока и электродвигателя. Позднее состоялось патентование в других странах. Не признававший переменного тока Эдисон был посрамлен. Только с применением переменного тока оказалось возможным передавать электроэнергию по высоковольтным линиям на большие расстояния, понижать напряжение в сетях потребителей, строить простые и надежные электродвигатели.

Инициатором внедрения систем переменного тока выступил известный американский изобретатель и предприниматель Джордж Вестингауз (1846–1914). Особенно широкую известность он получил как изобретатель пневматического тормоза для железнодорожного транспорта. Летом 1888 г. Вестингауз посетил лабораторию Теслы, состоялся обмен несколькими фразами, после чего в руках изобретателя остался чек на миллион долларов и обязательство платить по одному доллару за каждую лошадиную силу установленных генераторов и электродвигателей. Вестингауз стал обладателем более чем 40 патентов.

Люди быстро оценили преимущества переменного тока. Крупнейшие электротехнические компании мира в течение 20 лет провели более 25 судебных процессов с "Вестингауз электрик компани" за право использования многофазных токов, но патенты Теслы оказались составленными безукоризненно. Пришлось платить деньги.

Тесла стал богат. Первое время пытался помогать инженерам Вестингауза, предложил использовать частоту 60 Гц, но потом отказался от работы с высоким окладом, полагая, что для созидания нужна полная свобода. Переменный ток промышленной частоты его уже мало интересовал. Принятую теперь во всем мире трехфазную сеть переменного тока (Тесла создал двухфазную) предложил использовать русский

электротехник М. О. Доливо-Добровольский (1861—1919). Под его руководством в 1890—1891 гг. создавались трехфазные генераторы, моторы и трансформаторы.

Тесла вел довольно замкнутый образ жизни, изредка переезжал из одной гостиницы в другую, однако иногда устраивал изысканные обеды, на которые приглашались известные деятели науки и искусства. Большая часть времени отдавалась работе. Многие воспринимали ученого как изрядного чудака. По американским меркам они были не очень далеки от истины. Кто, например, мог бы безвозмездно отдать приятелю половину полученного миллиона долларов? В другой раз с целью сохранения компании Вестингауза он отказался от 10—12 млн. долларов, которые должен был получить за установленные генераторы и моторы.

В 1889 г. Тесла занялся изучением токов высокой частоты, проблемами создания новых источников света, передачи энергии без проводов и т. д. Начал с создания электромашинных генераторов, рассчитанных на частоту 10 . . . 20 кГц, а позже перешел к изучению электромагнитных волн с частотой в несколько мегагерц. Разработанный ученым резонанс-трансформатор по сути являлся первым радиопередатчиком искрового типа. Было обнаружено, что токи высоких частот вызывают нагрев живых тканей. Тут же последовало предложение использовать их в медицинских целях. Особенно сильное впечатление произвели на публику электрические лампочки и газосветные трубки, светящиеся в руках Теслы под действием высокочастотного электромагнитного поля.

За весь почти шестидесятилетний период жизни в США Тесла только дважды покидал страну. Первый раз он посетил Всемирную выставку в Париже в 1889 г., навестил родных, побывал в Белграде. Второй раз (1892) уже знаменитый ученый приехал в Европу с циклом лекций о своих исследованиях. С большим успехом прошли выступления перед членами Королевского общества в Лондоне и перед членами Французского физического общества и Международного общества электриков в Париже. Но через два дня он на специально нанятом

поезде мчался к умирающей матери. Ее завещанием стала просьба о служении науке. Тесла прервал лекционное турне и вернулся в лабораторию.

Следующие три года открытия следуют одно за другим, *однако ни одно из них не дорабатывается до стадии техничес*кого использования. Верность лозунгу: наука превыше всего — остается неколебимой. 13 марта 1895 г. стало черным днем в творческой жизни исследователя. В Нью-Йорке сгорела его громадная лаборатория. Погибло все, ученый разорился. Среди незаконченных разработок упоминался новый метод беспроволочной передачи сообщений на далекие расстояния. Есть основания полагать, что Тесла был близок к изобретению радиосвязи.

Кипучая энергия и колоссальная работоспособность позволили ученому уже через полгода построить новую лабораторию на частные пожертвования. В следующем году была создана радиостанция с дальностью действия 32 км. Подлинным триумфом стала демонстрация первой радиоуправляемой модели судна (1898), т. е. первой в истории телеуправляемой системы.

Не менее интересные работы проводились в области ультразвуковой техники. Предлагалось использовать ультразвук для разведки полезных ископаемых, для поиска подводных лодок и т. д. Сейчас эти способы широко применяются. На проведение исследований денег хронически не хватало. В очередной раз они кончились в 1899 г., когда в уме ученого зрела идея всемирной передачи электроэнергии через Землю. Идея оказалась утопической, но крайне заманчивой. Погреть руки на ее эксплуатации решил основатель крупнейшей финансовой группы США Д. П. Морган, предложив изобретателю 150 тыс. долларов.

Новое столетие началось для Теслы с приобретения земельного участка площадью около 81 га в 60 км от Нью-Йорка. Там предполагалось построить самую мощную радиостанцию. Вторую станцию для передачи электроэнергии планировалось построить у Ниагарского водопада. Однако строительство

прекратилось через четыре года из-за недостатка средств. Никто не пожелал вложить деньги в "сомнительное предприятие". Сам Тесла мог бы обладать изрядным состоянием, но отказывался требовать деньги с предпринимателей, эксплуатировавших его изобретения.

В последующие годы Тесла жестоко бедствовал, перебивался случайными заработками, изобретал турбины, насосы, спидометры, частотомеры и т. д. Время необратимо. Лучшие, самые продуктивные годы прошли. За свою жизнь он сделал более 800 изобретений и массу предложений по их использованию. Только Т. А. Эдисон опередил его, получив более 1300 патентов. Однако нельзя забывать, что к работе в лабораториях Эдисона привлекалось много талантливых сотрудников из всех развитых стран.

На шестидесятом году жизни по совокупности работ Николе Тесле была присвоена Нобелевская премия (1915), причем вторым лауреатом оказался Томас Алва Эдисон (1847–1931). Чрезвычайно щепетильный в вопросах чести, Тесла, не считая последнего ученым и не разделяя его предпринимательских устремлений, часто весьма далеких от общепринятых норм, отказался от так нужных ему 25 тыс. долларов. В следующем году Американский институт электроинженеров присвоил ученому высшую награду за работы в области электротехники — золотую медаль Эдисона, которую удалось вручить только после долгих уговоров. Тесла с ней расстался, увольняя последних двух секретарш. Разрубив медаль на две части, он вручил половинки в качестве вознаграждения за труд.

На помощь пришла далекая родина. Правительство Югославии установило пожизненную пенсию: 6 тыс. долларов. Последние месяцы немощный Тесла прожил затворником. К нему имел право входить только племянник и то не всегда. Тесла был одинок в жизни и в науке, научной школы не оставил. Скончался 7 января 1943 г.

Работы Николы Теслы получили всеобщее признание. Высшей наградой Американского института электроинженеров за заслуги в области электротехники стала медаль Теслы. Лич-

ный архив ученый распорядился передать посольству Югославии, который затем был помещен в Национальный музей Николы Теслы в Белграде.

Тесла состоял почетным членом академий и научных обществ многих стран. Его имя украшает торговую марку (рис. 20) всемирно известного чехословацкого концерна, производящего самую разнообразную электронную и электротехническую продукцию. Он выпускает радиолокаторы, бытовую радиоаппаратуру, измерительную аппаратуру, батарейки, микросхемы, резисторы, конденсаторы, источники света, аппаратуру связи и многие другие изделия.

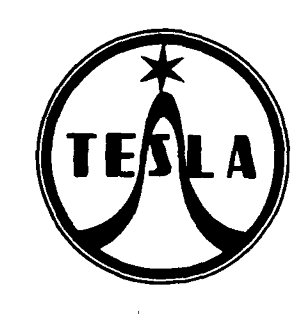


Рис. 20. Эмблема концерна "Тесла" (ЧССР)

В состав концерна входят научно-исследовательские и конструкторские организации, десятки производственных предприятий, размещенных в различных городах Чехословакии. "Тесла" является одним из крупнейших производителей электронной аппаратуры в странах СЭВ. Значительная часть продукции экспортируется и в нашу страну.

Ранее отмечалось, что в 1895 г. Тесла разрабатывал способ беспроволочной передачи сообщений. Эксперименты проводились с высокочастотными электромагнитными волнами, был создан мощный радиопередатчик, а детектор-когерер уже был известен. До изобретения радио оставалось совсем немного. В том же 1895 г. А. С. Попов начал с изобретения радиоприемника, а закончил созданием полного комплекса приемопередающей радиоаппаратуры. Имена этих людей теперь символично объединены. Научно-исследовательский институт связи в концерне "Тесла" носит имя А. С. Попова.



17. ГЕРЦ



По отношению к некоторым деятелям науки и техники мы часто говорим: великий, знаменитый, выдающийся. Нередко указанные определения употребляются с конкретными именами через многие годы после смерти их владельцев. Так произошло с английским физиком Дж. К. Максвеллом (1831–1879). Разрабатывая идеи М. Фарадея, он в 1862–1864 гг. создал теорию электромагнитного поля и предсказал существование электромагнитных волн. Большинство современников были не в состоянии оценить достигнутые результаты, другие называли их бредовыми идеями, а третьи недвусмысленно покручивали пальцем у виска.

25 лет теория Максвелла не находила признания, и только 25 месяцев потребовалось Г. Герцу для того, чтобы ее подтвердить экспериментально. Успех необыкновенный! Мировое признание последовало незамедлительно.

Генрих Рудольф Герц родился 22 февраля 1857 г. в семье гамбургского адвоката, а затем сенатора города. Крепким здоровьем не отличался. Проявил выдающиеся способности при освоении гимназического курса. Владел английским, французским, итальянским языками, понимал греческий и арабский. Освоил специальности столяра и токаря. По окончании гимназии в 1875 г. решил стать инженером и поступил в Дрезденскую высшую техническую школу. Через год перешел в Мюнхенскую высшую техническую школу, а спустя еще год понял, что ошибся в выборе профессии. Его призвание – наука. По этому поводу молодой Герц в письме к родителям (1877) приводит слова Шиллера: "Кто трусит жизнью рисковать, тому успеха в ней не знать". С институтской учебой покончено, впереди – Берлинский университет с сильней-

шим преподавательским составом. Достаточно сказать, что учителями "рискнувшего" юноши были Г. Л. Ф. Гельмгольц (1821–1894), Г. Р. Кирхгоф (1824–1887). Экспериментальную работу Герц начал, будучи студентом в лаборатории Гельмгольца. Через год пришел первый успех, отмеченный золотой медалью университета. В 1880 г. Герц досрочно закончил университет, получив степень доктора. Тогда Гельмгольц писал: "Я увидел, что имею дело с учеником совершенно необычайного дарования".

Три года молодой ученый без особого успеха ассистировал Гельмгольцу в Физическом институте Берлинского университета. Затем Герц покинул столицу, так как представилась возможность без конкурса занять должность приват-доцента Кильского университета (1883–1885). Следующий этап карьеры продолжался уже в должности профессора физики политехнического института в Карлсруэ, где и были сделаны все основные открытия. Летом 1886 г. Герц женился на дочери коллеги Елизавете Долль. В октябре 1886 г. началась историческая серия опытов по исследованию электромагнитных волн.

Разделял ли Герц идеи Максвелла? Хотел ли он экспериментально доказать существование электромагнитных волн? Скорее всего, нет. Открытие стало "запланированной" случайностью. Ведь случайные результаты, оказавшись в распоряжении опытного ученого, могут быть истолкованы как проявление какой-то закономерности. Так и произошло.

Герц стал подбирать аппаратуру для демонстрации колебательных явлений в контурах, состоящих из катушек и конденсаторов (рис. 21, *а*). Эти явления были известны давно. Излучательная способность таких замкнутых систем очень мала. Обычно для регистрации индукционных токов использовалась катушка с подключенным гальванометром. Герц соорудил простейший индикатор в виде разрезанного кольца. Наведенные токи, считал он, вызовут проскакивание электрической искры в зазоре. Позднее было отмечено, что мощность искры увеличивается при уменьшении размеров катушки воз-

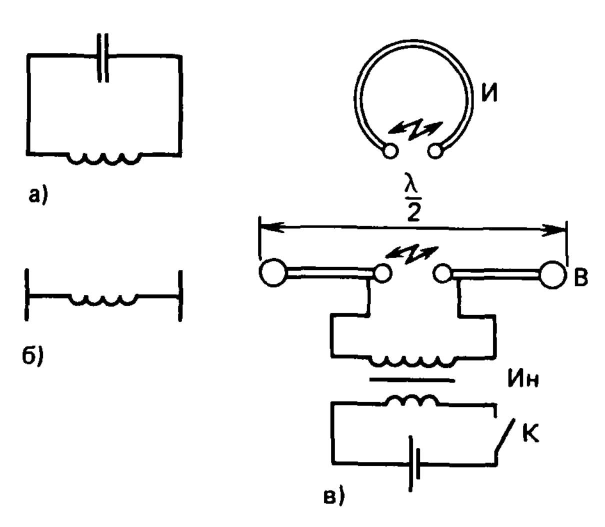


Рис. 21. Схематическое изображение установки Герца

буждения и емкости контура, т. е. при переходе к колебаниям с более высокой частотой.

Сначала контур был приведен к виду, изображенному на рис. 21, *б*, а в конце опытов установка приобрела вид рис. 21, *в*. Функции катушки выполняли два медных стержня диаметром 3 см и длиной 9 см. На их концах в качестве эквивалентов обкладок конденсатора располагались медные шары диаметром 4 см. Созданный таким образом вибратор В позднее был назван именем изобретателя. Вибратор возбуждался от индуктора Румкорфа Ин в момент проскакивания искры между стержнями. Индуктор — это простейший вариант повышающего трансформатора, в котором индукционные токи возникали при замыкании или размыкании ключа К. В качестве индикатора И электромагнитного поля использовалось отнесенное на несколько метров от вибратора разрезанное медное кольцо. Выяснилось, что мощность искры в разрыве кольца зависит от его размеров. Герц зафиксировал явление резонанса. Вот три достижения, на основе использования которых были открыты радиоволны:

изобретение вибратора (или диполя) Герца, т. е. по сути — первой антенны;

переход в область сверхвысоких частот (вплоть до $4,5 \times 10^8$ Гц);

использование явления резонанса при регистрации радиоволн.

Все это ясно теперь. Герц не подозревал об открытии. Налицо был только один факт: разряды между концами вибратора регистрировались на значительном расстоянии от вибратора и даже в другой комнате. Первый отчет о замеченном явлении был послан в журнал в марте 1887 г.

В результате дальнейших опытов обнаруживалось теневое действие металлических листов, расположенных между вибратором и индикатором (эффект экранирования), и усиливающее действие металлических листов, расположенных за индикатором (эффект рефлектора). Где-то в конце 1887 г. Герц стал понимать, что наблюдаемые эффекты весьма схожи со свойствами света. Требовалась проверка, которая была проведена в 1888 г.

"Я работаю как рабочий на заводе и по времени, и по характеру ...", — сообщал профессор в одном из писем к родителям. Он всегда работал один и обладал вполне заметным честолюбием. Читаем в другом письме (1887): "Если бы я знал, что могу работать спокойно, не досаждаемый гонками с другими учеными, то я продолжил бы работу и довел исследование до конца, прежде чем напечатал что-нибудь".

Необходимо было доказать возможность фокусировки радиоволн и их другие свойства, на основании которых появилась бы возможность отождествить наблюдаемые волны со светом. Из оцинкованного листа железа размером $2 \times 1,5$ м выгибается параболическое зеркало, в фокусе которого помещается резонатор. Новые "лучи" удается превратить в параллельный поток! Делается призма из асфальта в виде равнобедренного треугольника с боковой гранью 1,2 м, высотой 1,5 м и массой 1200 кг. При прохождении через нее параллельные "лучи" преломляются. Следует серия трудоемких и чрезвычайно остроумно поставленных экспериментов. Ведь все делалось с использованием простейших или, как говорят, под-

ручных средств. Искусный экспериментатор достиг цели. Было установлено, что электромагнитные волны, подобно свету, подвержены отражению, преломлению, интерференции, поляризации и дифракции. Удалось измерить длину и рассчитать скорость распространения волн. Ученый окончательно убедился в их существовании. Обобщенные результаты опытов приведены в работе "Силы электрических колебаний с точки зрения теории Максвелла", вышедшей в 1889 г.

Открытие свершилось! Оно признано всеми. Итальянское общество наук награждает Герца медалью Маттеучи (1888), Парижская академия наук присуждает премию имени Лаказа (1889), Венская императорская академия – премию Баумгартнера (1889), лондонское Королевское общество награждает медалью Румфорда (1890), Королевская академия в Турине присуждает премию Бресса (1891). Прусское правительство наградило ученого орденом Короны. Он стал членом-корреспондентом многих иностранных академий.

Далее случилось непредвиденное. Герц перестал заниматься электромагнитными волнами. Они существуют, это доказано – вот вывод, который вполне устраивал "чистого" ученого. Более того, в письме к инженеру Губеру (1889) он полностью отрицал возможность применения открытых волн для решения практических задач.

Почему так произошло? Вряд ли можно дать четкий ответ. Скорее всего, смущала малая дальность регистрации волн – несколько метров и слабый эффект проявления – короткая искорка в разрядном промежутке.

Жить ученому оставалось недолго. В 1889 г. он переезжает в Бонн и занимает должность профессора местного университета. Основные научные интересы того времени: разработка теории вибратора, переработка законов классической механики. Темп работ резко упал, сказалось перенапряжение последних лет. Обострился туберкулез, ухудшилось зрение, последовали заболевания зубов, носа, ушей и смерть от общего заражения крови 1 января 1894 г. Герц прожил короткую жизнь, активно работал всего несколько лет и так много успел сделать.

Герц, вероятно, не знал, что еще в 1884 г. Кальцекки-Онести обнаружил способность металлических опилок резко понижать сопротивление под воздействием близкого электрического разряда. Это явление в экспериментах с вибратором Герца (1890) подтвердил французский физик Эдуард Бранли (1859–1927). Опилки заключались в стеклянную трубку, получившую название трубки Бранли. Английский физик Оливер Лодж (1851–1939) назвал трубку Бранли когерером и включил его в цепь последовательно с батареей питания и гальванометром (1894), т. е. изобрел способ детектирования электромагнитных волн. Они обнаруживались на расстоянии до 40 м. Это случилось в год смерти Герца. И, наконец, в следующем году русский физик и электротехник А. С. Попов (1859–1905) для регистрации электромагнитных волн использовал электрический звонок, который одновременно встряхивал когерер, т. е. восстанавливал его исходное высокое сопротивление. Во всем мире принято считать днем рождения радио 7 мая 1895 г., когда состоялась демонстрация первого радиоприемника. 12 марта 1896 г. Попов вместе со своим помощником передали и приняли первую радиограмму, записанную на телеграфную ленту. Она содержала два слова: "Генрих Герц".

Сейчас средства радиосвязи используются во всех отраслях народного хозяйства. В мире работают десятки тысяч мощных радиотелевизионных станций, у населения планеты находится более миллиарда радиоприемников и около полумиллиарда телевизоров. Радиосвязь используется на спутниковых и радиорелейных линиях, ее широко применяют на всех видах транспорта, в вооруженных силах и т. д. Точного числа используемых средств радиопередачи и радиоприема не знает никто. На одних и тех же частотах могут работать сотни радиоустановок различного назначения. Условия приема сильно осложняются. Создается, как говорят специалисты, сложная электромагнитная обстановка.

Многосложная работа по распределению частотного диапазона между государствами, ограничение излучаемой мощнос-

Таблица 4

Виды радиоволн	Длина волны, частота	Частоты
Мириаметровые	10 ... 100 км, 3 ... 30 кГц	Очень низкие (ОНЧ)
Километровые	1 ... 10 км, 30 ... 300 кГц	Низкие (НЧ)
Гектометровые	0,1 ... 1 км, 0,3 ... 3 МГц	Средние (СЧ)
Декаметровые	10 ... 100 м, 3 ... 30 МГц	Высокие (ВЧ)
Метровые	1 ... 10 м, 30 ... 300 МГц	Очень высокие (ОВЧ)
Дециметровые	0,1 ... 1 м, 0,3 ... 3 ГГц	Ультравысокие (УВЧ)
Сантиметровые	1 ... 10 см, 0,3 ... 30 ГГц	Сверхвысокие (СВЧ)
Миллиметровые	1 ... 10 мм, 30 ... 300 ГГц	Крайне высокие (КВЧ)
Децимиллиметровые	0,1 ... 1 мм, 0,3 ... 3 ТГц	Гипервысокие (ГВЧ)

ти, регламентирование качественных показателей трактов формирования и передачи сигналов проводятся Международным консультативным комитетом по радиосвязи (МККР). Его решения обязательны для всех. Комитет является постоянно действующим органом Международного союза электросвязи (МСЭ) – специализированного учреждения, входящего в организационную структуру Организации Объединенных Наций. Наша страна – член МСЭ с 1925 г.

Согласно решению МККР в СССР принят ГОСТ 24375–80. Все радиоволны разделены на девять диапазонов, и каждому из них присвоено название (табл. 4). Они не требуют пояснений, кроме первого названия: начальная часть слова происходит от греческого myrias – гигантский, очень большой.

Условия распространения радиоволн зависят от их длины, состояния атмосферы, наличия и высоты расположения ионизированных областей ионосферы, т. е. от времени суток и активности Солнца.

Мириаметровые и километровые волны сравнительно мало поглощаются в атмосфере и в основном распространяются в приземном слое, не выходя за пределы ионосферы. Эти диапазоны волн используются для организации радиосвязи с судами и самолетами в любой точке земного шара и даже с подводными лодками, находящимися на глубине нескольких десятков метров. Высокочастотная часть диапазона используется для радиовещания (длинные волны).

Гектометровые волны в зависимости от времени суток распространяются в приземном слое и могут возвращаться в точку приема после отражения в ионосфере. Обе волны интерферируют. Временами принятый сигнал становится громче или тише. В таких случаях говорят, что наблюдается явление фединга (англ. fading — затухание). Каждый радиослушатель хорошо знаком с этим явлением. Гектометровые волны используются для целей связи различными организациями, а в диапазоне 187,5 . . . 577 м работают радиовещательные станции (средние волны).

Декаметровые волны могут достигнуть места приема после многократного отражения от слоев ионосферы и поверхности Земли. Наблюдаются сильные замирания сигнала, но для передачи сообщений даже на очень большие расстояния нужны весьма маломощные радиопередатчики. В диапазоне высоких частот работают радиовещательные передатчики (короткие волны), организуются магистральные линии связи, работают судовые и самолетные передатчики, радиолюбители и т. д.

Метровые и более короткие волны распространяются, как правило, в пределах прямой видимости. В диапазонах метровых и дециметровых волн работают телевизионные станции и ультракоротковолновые (УКВ) радиостанции, радиолокационные станции, радиорелейные линии, организуется связь с подвижными объектами (связь в портах, аэродромах, с автома-

шинами скорой помощи, милиции и т. д.). Антенны центральных станций всегда располагают на вершине специально построенных башен или крышах высотных зданий. Волны длиной 4...10 м используются для организации линий связи протяженностью до 2400 км за счет их рассеяния из-за неоднородности тропосферы на высоте 100 ... 120 км. Такие линии связи получили название тропосферных.

Сантиметровые волны используются при организации спутниковых и радиорелейных линий связи, в радиолокации. Излучения с длиной волны менее 5 см сильно ослабляются гидрометеорами (дождь, град, снег, туман).

В миллиметровом диапазоне волн работают радиолокационные системы ближнего действия, могут организовываться линии связи между космическими объектами за пределами атмосферы. Децимиллиметровые волны для целей радиосвязи не используются.

Приведенный перечень применений волн различной длины и различных радиотехнических систем, конечно, не может претендовать на полноту. Сколько возникает перед специалистами задач, столько, а то и гораздо больше, появляется путей их решения.

Антенна, созданная Герцем (см. рис. 21, *в*), сейчас выполняется в виде двух трубок, общая длина которых составляет половину длины волны принимаемых излучений, и называется полуволновым вибратором. Нетрудно узнать в нем простейшую приемную телевизионную антенну. Коллективные антенны выполняются также в виде полуволнового вибратора (петлевой формы) и комплектуются рядом пассивных вибраторов: несколько директоров и рефлектор. Антенна ориентируется на телецентр. Таким образом удается ограничить область эффективной работы антенны, т. е. защититься от помех, приходящих по другим направлениям. Для повышения направленности действия и чувствительности рефлекторы обязательно устанавливаются на всех антеннах радиорелейных, спутниковых, радиолокационных передатчиков и приемников. Изобретения Герца работают!

Чего только не пробовал делать пытливый ученый в процессе экспериментов, стремясь повысить чувствительность индикатора. Его жертвой стала не одна лягушка. По примеру Гальвани делались попытки заменить искровой промежуток лягушачьими лапками. И вот однажды (опять его величество — случай) Герц подметил, что длина искры увеличивается, если искровой промежуток находится в поле засветки от разрядника резонатора. Причиной оказалось ультрафиолетовое излучение. Последовала немедленная публикация (1887), а эффект был забыт . . .

Эффект получил название внешнего фотоэффекта и исследовался другими учеными. Оказалось, что под действием света некоторые вещества испускают электроны. Наибольших успехов в исследовании фотоэффекта, вероятно, достиг русский физик А. Г. Столетов (1839—1894), который независимо от других в 1888 г. изобрел фотоэлемент — первый светоэлектрический преобразователь — и исследовал его свойства. Появилась реальная возможность создания факсимильных (фототелеграфных — старое название) систем связи. Факсимильная связь — это электрическая передача неподвижных плоских изображений: текстов, фотографий, карт и т. д. Первые такие системы стали реальностью в 1907 . . . 1908 гг. Сейчас средствами факсимильной связи передаются полосы центральных газет, материалы телеграфных и других агентств, служебные и личные документы, метеокарты и т. д. Факсимильные аппараты устанавливаются в редакциях газет, на предприятиях, в отделениях связи, на морских судах и даже в автомашинах.

Создание современных телевизионных систем стало возможным только после изобретения в 1931 г. иконоскопа — первой передающей трубки с накоплением заряда. Она работает с использованием внешнего фотоэффекта. Изобретение сделано независимо друг от друга советским ученым С. И. Катаевым и американским ученым В. К. Зворыкиным. Трубки указанного типа и их модификации использовались около 30 лет. В последние десятилетия телевизионная техника полностью об-

новилась. Теперь трудно назвать такую область деятельности человека, где бы она не применялась. Это и понятно: человек более 80 % информации об окружающем нас мире получает через зрительный аппарат. Вот некоторые примеры: наблюдение за поверхностью Земли и облачным покровом с целью составления прогнозов погоды, разведки полезных ископаемых и т. д.; контроль технологических процессов; управление роботами, транспортными потоками, крупными судами; криминалистика; охрана объектов; видеотелефон; образование . . . Всего не перечислить. С вещательным телевидением все хорошо знакомы, а скоро многие смогут приобрести видеомагнитофоны, оснащенные персональными передающими камерами. Телевизионным системам доступна не только видимая часть спектра электромагнитных колебаний, но и запретные для зрительного аппарата ультрафиолетовая и инфракрасная области спектра.

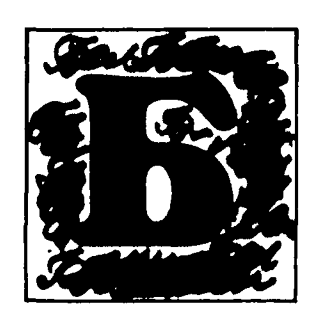
Исследуя свойства катодных (электронных) лучей, Герц отметил их способность проходить через тонкие металлические пленки (1892). Об отмеченном явлении вспомнили через 60 лет во время начала массового выпуска телевизоров. Через несколько месяцев после начала эксплуатации телевизора в центре экрана возникало постепенно чернеющее пятно, получившее название ионного. Действительно, тяжелые отрицательные ионы слабо отклонялись под действием магнитных полей разверток и разрушали люминофор. От вредного эффекта удалось избавиться путем нанесения на внутреннюю поверхность люминофора алюминиевого слоя толщиной 0,05 . . . . . . 0,5 мкм, "прозрачного" для электронов. За счет алюминирования экрана возросли его яркость и контрастность изображения — прекрасное достижение.

Итак, Генрих Рудольф Герц стоял у истоков трех видов электросвязи: радио, факсимильной и телевидения. Он открыл фундаментальные закономерности, на базе которых последующие исследователи и ученые создали то, что мы теперь называем средствами электросвязи.

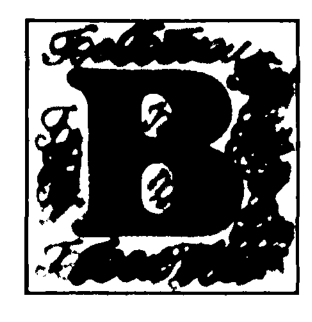
Полтора века прошло со времени создания первой системы единиц К. Гаусса. Много их сменилось, но во всех системах за единицу времени всегда принималась секунда. Таким образом, единица частоты периодического процесса герц, при которой за время 1 с происходит один цикл периодического процесса, фактически существовала еще до рождения ученого, в честь которого названа. Официальное название единица получила в начале текущего века.

Предложение о новом наименовании единицы частоты было выдвинуто в 1928 г., но на заседании Международной электротехнической комиссии (МЭК) не получило общей поддержки участников (1930). Впервые в качестве стандартного оно принято в СССР (1932). В 1933 г. МЭК утвердила единицу частоты — герц в качестве международной.

Новым образованиям на обратной стороне Луны, зафиксированным на фотографиях советской автоматической станции "Луна-3" (1959) и автоматической межпланетной станции "Зонд-3" (1965), присвоены имена Г. Герца, А. Попова, непризнанного в свое время Максвелла, а также В. Вебера и Н. Теслы.



18. БЕЛ



Зачем автомашине коробка передач? Зачем в фотоаппаратах предусмотрена регулировка диафрагмы и времени экспозиции? Ответ прост. С помощью различных устройств и механизмов удается в широких пределах регулировать какие-то эксплуатационные характеристики машин и приборов. У человека сменных приспособлений нет, а выполнять ему приходится самые различные работы в самых разных условиях. Говорят, что человек — венец природы. Сомнений нет! Природа славно потрудилась, снабдив его совершенными органами чувств, способными выполнять свои функции в широком диапазоне внешних воздействий.

Связь между интенсивностью ощущения и силой раздражения, действующей на какой-либо орган чувств, описывается законом Вебера—Фехнера. Немецкий физиолог Э. Г. Вебер (1795—1878) установил, что человек воспринимает не абсолютный прирост силы раздражителя I (света, звука и т. д.). Имеет место соотношение $\Delta I/I \approx$ const. Только поэтому мы видим в сумерках и при ярком солнечном свете, слышим шум листвы и вой авиационного двигателя. Несколько позднее немецкий физик Г. Т. Фехнер (1801—1887) вывел более строгую формулу $S = a \lg I + b$, где S — интенсивность ощущения; a и b — постоянные коэффициенты, зависящие от условий испытаний. В первом приближении их можно не учитывать.

В настоящей главе речь пойдет об акустике, и поэтому представляется необходимым конкретизировать введенные понятия. Нас попросту интересует громкость звука. Она пропорциональна интенсивности, т. е. мощности звука, приходящей-

ся на единицу площади. Абсолютный уровень интенсивности $L_I = \lg I/I_0$, где $I_0 = 10^{-13}$ Вт/м^2 — порог слышимости.

Абсолютный уровень интенсивности измеряется внесистемной единицей, которая называется бел. Единица довольно крупная. На практике чаще пользуются ее десятыми долями — децибелами (дБ). Тогда $L_I = 10 \lg I/I_0$.

Аналогично можно говорить об уровне электрической мощности $N_P = 10 \lg P/P_0$, где $P_0 = 1$ мВт (условная мощность). Если записать $P = U^2/R$, то при подстановке выражения в предыдущую формулу цифра 2 выходит за знак логарифма. Формула для уровня напряжения имеет вид $N_U = 20 \lg U/U_0$, где $U_0 = 0{,}775$ В (условный уровень). Точно так же рассчитывается уровень по звуковому давлению для воздуха $L_p = 20 \lg p/p_0$, где $p_0 = 2 \cdot 10^{-5}$ Па (условный порог давления).

В настоящей главе не стоит задача анализа свойств слуха человека, нет нужды также заниматься тонкостями нормировки акустических параметров. Считается, что порог слышимости соответствует интенсивности звука в безветренную погоду в густом заснеженном лесу. Определение не лишено эмоционального начала. Конкретные цифры интенсивности звука и давления, соответствующие порогу слышимости, приведены выше.

При достижении интенсивности звука, равной 1 Вт/м^2, наступает ощущение боли. Это болевой порог, он соответствует 130 дБ. Все доступные нам уровни ощущения находятся в пределах интервала 0 . . . 130 дБ, получившего название динамического диапазона слухового аппарата.

Громкость звука или шума существенно влияет на здоровье и трудоспособность человека. Как правило, уровень шума на рабочих местах не должен превышать 80 дБ. Конкретные цифры указываются в государственных стандартах и других нормативных документах. Реально в производственных условиях уровень шума может быть существенно больше. Приходится применять индивидуальные средства защиты в виде шумопо-

глощающих наушников. Есть случаи, когда люди сами себя травмируют шумом. Прежде всего замечание относится к любителям дискотек и переносных магнитофонов с индивидуальными воспроизводящими капсулами в ухе. Они подвергаются звуковому воздействию с интенсивностью до 120 дБ. Молодость не все списывает . . .

Последствия шумовых перегрузок существенны. Наступает полная или частичная потеря слуха, понижается иммунный барьер (люди чаще болеют), понижается производительность труда, появляются психические расстройства, повышается степень опасности получения производственных травм. Есть все основания сделать распространенным лозунг: берегись шума! Кстати, по сообщениям зарубежной печати на улицах некоторых городов стали устанавливаться приборы, на шкалах которых постоянно отображаются температура и давление воздуха, содержание окиси углерода и уровень шума. Во Франции даже действует закон, согласно которому в аэропортах владельцы самолетов облагаются специальным налогом. Его размер пропорционален создаваемому летательным аппаратом шуму.

Децибелы используются для оценки коэффициентов усиления радиоэлектронной аппаратуры, для описания формы характеристик различных фильтров, для оценки затухания сигнала в линиях связи и т. д. Впервые единица под названием "единица передачи" стала применяться в 1924 г. американской телефонной компанией, организованной А. Беллом. К официальному применению децибелы рекомендованы в 1929 г. Международным комитетом дальней телефонии в Европе. Единица названа по имени изобретателя телефона.

Александер Грейам. Белл родился 3 марта 1847 г. в Эдинбурге — главном городе Шотландии. Его дед Александер Белл и отец Мелвилл Белл слыли известными знатоками и преподавателями ораторского искусства. В семье увлекались музыкой. По завершении среднего образования шестнадцатилетний Александер-младший стал помощником школьного учителя

музыки и риторики, а через год перешел на работу преподавателя Академии Уэст Хаус. Добиваясь профессионального совершенства, Белл в течение десяти лет занимался вопросами акустики, особенностями функционирования голосового аппарата, окончил Эдинбургский и Лондонский университеты. Оба его брата умерли от туберкулеза. Отец видел признаки коварной болезни у последнего сына. Было решено сменить климат. С берегов "туманного Альбиона" семья в 1870 г. переселилась в Канаду, а в следующем году Александер Белл переехал в США и стал преподавателем бостонской школы глухонемых. С 1873 г. Белл работает профессором Бостонского университета.

Доходы от служебной деятельности молодого преподавателя, вероятно, оказались невелики. Приходилось перебиваться частными уроками. Однажды Белл соблазнился крупным вознаграждением, которое предлагала телеграфная компания тому, кто изобретет способ передачи нескольких сообщений по одной линии связи. Обладавший хорошим слухом, он сразу почувствовал, что несколько сообщений можно передавать одновременно звуками разной высоты. Осталось решить только вопросы преобразования телеграфных посылок в переменный ток разной частоты и вопросы разделения семи сигналов (по числу музыкальных нот) на приемной стороне. Теперь такой способ уплотнения канала связи называется частотным и широко применяется. По этому принципу осуществляется передача нескольких программ по городским радиотрансляционным сетям.

Среди нескольких состоятельных бостонцев, в числе которых был его будущий тесть адвокат Гардинер Хаббард, удалось собрать скромные средства для организации лаборатории. Единственным помощником стал молодой негр Томас Ватсон, оказавшийся пытливым исследователем и талантливым изобретателем. Лаборатория занимала две комнатушки на чердаке.

Не вдаваясь в подробности опытов, можно заметить, что "музыкальный телеграф" в своем первоначальном виде ока-

зался неработоспособным, но летним днем 1875 г. в результате одного из опытов с вибрирующими пластинками у Белла появилась смутная догадка о возможности передачи речи. С телеграфом было покончено. Возникла новая задача: преобразовать звуки человеческого голоса в электрический сигнал, передать его по линии связи и снова преобразовать в звук.

Последовали многие серии опытов с имитаторами уха человека, которые закончились экспериментами с ухом покойника. Именно барабанная перепонка мертвеца послужила в дальнейшем прообразом мембраны телефона. Неудачи следовали одна за другой, кредиторы прекратили финансирование. Начавший терять надежду изобретатель поехал в Вашингтон к Дж. Генри. Ученый внимательно выслушал визитера и посоветовал ни в коем случае не бросать начатого. О более детальных рекомендациях сведений, к сожалению, не сохранилось.

Первые скромные успехи появились в конце 1875 – начале 1876 г. Впереди было еще много работы, бесчисленные опыты. Позднее Белл писал: "Люди считают меня электриком, в действительности я изобрел телефон именно благодаря моему неведению в электротехнике. Ни одному электрику и во сне бы не снились произведенные мною опыты."

Будущий тесть (хотя и не дал денег на разработку телефона) в силу профессиональных убеждений искренне считал необходимым возможно скорее закрепить юридические права на изобретение, в котором не усматривал никакой практической ценности. 14 февраля Гардинер Хаббард самовольно подал заготовленную Беллом заявку в патентное ведомство. Через два часа заявку на идею аналогичного устройства принес американский электротехник Элиша Грей (1835–1901). В датировке событий есть основания сомневаться. Имеются сообщения, что чиновник патентного бюро Вильбурс перед смертью признался в подкупе. Важна суть: Белл патентовал устройство, Грей – идею. Напористость адвоката увенчалась успехом 7 марта 1876 г.: А. Г. Белл получил патент. Эту дату принято считать днем рождения одного из видов электросвязи – телефонии.

Потребительские качества первого телефона оказались низкими. Как ни старался Белл преуспеть в рекламе, спроса на изобретение не было. Не помогла демонстрация его на Всемирной выставке Столетия (США) в Филадельфии (1876), не принят во внимание лестный отзыв лорда Кельвина – акции основанной компании "Американ Белл Телефон Компани" не пользовались спросом. Другая причина непризнания – инерция общественного сознания. Для осознания преимуществ всего нового нужно время.

Огорченный изобретатель решил прервать свою бурную деятельность. В 1887 г. он подал дополнительную заявку (патентовалась металлическая мембрана с магнитными свойствами и постоянный магнит с обмоткой) и женился на абсолютно глухой Мейбл Хаббард, вероятно устав от занятий риторикой. Свадебное путешествие в Великобританию сопровождалось шумной, специально организованной компаньонами Белла рекламой.

Реклама помогла, но гораздо больше пользы принесла дополнительная заявка. Впервые люди получили в свое распоряжение высококачественный электроакустический преобразователь – телефон. Белл использовал его и в качестве микрофона. По сравнению с первым образцом качество звука и чувствительность улучшились во много раз. Телефон принял практически тот вид, который он имеет сейчас. Это чашеобразный корпус, в центре которого находится постоянный магнит с обмоткой. Корпус закрывается стальной тонкой мембраной, не соприкасающейся с магнитом. При пропускании через обмотку токов звуковой частоты мембрана притягивается или отталкивается. Мы слышим звук. Теперь телефоны выпускаются неразборными и называются телефонными капсулами.

Запахло деньгами. Телефонная компания "Вестерн Юнион" тут же выдала заказ на создание телефона профессиональному изобретателю Т. А. Эдисону, располагавшему штатом талантливых сотрудников и хорошей лабораторной базой. Тот быстренько изобрел никуда не годный микрофон, соединил его с

телефоном Белла и отправился в суд отстаивать свои права. Ничего не вышло. Упорства Эдисону не занимать. Изготовив несколько неудачных образцов, он в 1878 г. усовершенствовал конструкцию, предложенную жившим в Великобритании и США изобретателем Д. Э. Юзом (1831—1900). В результате появился угольный микрофон. На дне его чашеобразного корпуса укрепляется металлический электрод, внутренность заполняется угольным порошком и корпус закрывается тонкой металлической мембраной. Сопротивление порошка изменяется в зависимости от звукового давления на мембрану. Принцип конструкции угольного микрофона не изменился по сей день.

В конце 1879 г. фирмы, которые представляли Белл и Эдисон, пришли к компромиссному решению: поделили прибыли и сферы деятельности, но объединили принадлежавшие им изобретения. Следует отметить, что по числу предъявленных исков Белл, наверное, не знал себе равных в истории. Всего состоялось более 600 судебных процессов. Многим хотелось урвать часть прибылей, ожидаемых в процессе телефонизации.

Интерес к сбыту разнообразной телефонной аппаратуры не ослабевает и теперь. В 1985 г. в мире насчитывалось немногим более 500 млн. телефонных аппаратов, а население Земли превысило 4,8 млрд. человек. Услуги, предоставляемые телефонной сетью, постоянно растут. Уже сейчас в ряде стран по телефонным сетям начинают передавать программы радиовещания, неподвижные изображения (видеотелефон), факсимильную информацию, данные вычислительных машин и т. д. Расширение функций телефонной сети неизбежно приведет к обновлению эксплуатируемой аппаратуры. Это практически неограниченный рынок.

Несколько слов о судьбе изобретений Белла и Эдисона. Пока большинство из 500 млн. действующих аппаратов снабжены изобретенными более 100 лет назад телефонами и микрофонами в современном исполнении. Их качественные показатели неизмеримо возросли, но принципы работы остались не-


0,10 µF

изменными. В последние годы четко просматривается тенденция полного обновления материальной базы телефонных сетей. Процесс этот достаточно длителен. Есть желание в значительной степени избавиться от кабелей, заменив их световодами. Современный телефонный аппарат уже практически не содержит механических деталей. Избавляются от механических частей и на автоматических телефонных станциях. Происходит микроминиатюризация всей аппаратуры и элементов на основе использования интегральной микросхемотехники. Дошло дело и до замены микрофонов и телефонов. Их пытаются выполнить на основе материалов с хорошо выраженными пьезоэлектрическими свойствами. Поступили сообщения об изготовлении микрофонов с акустоэлектрическими преобразователями, изготовленными из специальных полимерных пленок. При деформации пленки от давления воздуха на ее краях возникает напряжение сигнала. Качественные показатели у новых микрофонов лучше, чем у угольных. Габариты удалось снизить в 3, а цену в 2 раза. В принципе подобные пленки можно использовать и для воспроизведения звука под действием приложенного напряжения.

Пора вернуться к Беллу. После заключения соглашения с Эдисоном он стал богат, телефоном больше никогда не занимался. В 1885 г. принял американское подданство. В 1884—1886 гг. совместно с другими получил ряд патентов в области звукозаписи и звуковоспроизведения. Основал журналы "Наука" и "Американское общество по обучению речи". С 1898 г. был одним из членов правления Смитсоновского института. Много помогал молодым исследователям. С именем Белла связано появление термина "радио". В 1880 г. он изобрел световой телефон, назвав его радиотелефоном. С 1904 г. слово "радио" стало употребляться как составная часть сложных слов, и только в 1964 г. МСЭ установил определение термина. А. С. Попов называл свои опыты беспроволочной телеграфией.

Заслуги Белла всегда высоко ценились. В 1885 г. Франция наградила его орденом Почетного легиона, присудила премию

Вольты. Денежные средства изобретатель потратил на организацию института Вольты в Вашингтоне с целью разработки проблем практического применения различных средств электросвязи. Лондонское королевское общество в 1913 г. наградило Белла золотой медалью Хьюгса.

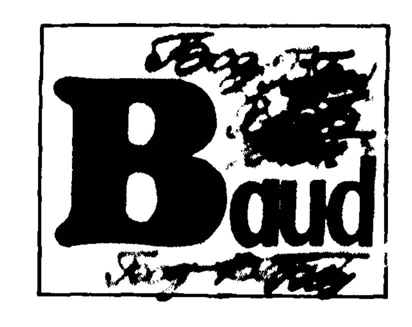
Александер Грейам Белл скончался на 76-м году жизни в местечке Кейп Бритн Айленд (канадская Новая Шотландия). Он похоронен на мысе Бретон в Канаде. 4 августа 1922 г. в момент спуска гроба в могилу прощальный салют был заменен минутой молчания. США и Канаде выключили все телефоны. Прижизненным памятником изобретателю остались около 25 млн. телефонных аппаратов, установленных во всех уголках земного шара.

В переводе с английского слово bell означает звонок, колокол. *Символическая фамилия! Имя Белла в США* присвоено крупнейшему научно-исследовательскому центру и концерну.

Телефонный аппарат приобрел привычный вид в начале XX в. после изобретения в 1907 г. номеронабирателя. Теперь согласно действующему ГОСТу все телефонные аппараты делятся на четыре класса: высший, первый, второй и третий. Аппарат с дисковым номеронабирателем — последний класс, с клавишным номеронабирателем — второй. В аппаратах высшего и первого классов реализуются до 27 дополнительных функциональных возможностей: двухтональные и трехтональные звонки, запоминание и индикация набранного номера, автоматический повторный вызов, индикация текущего времени и т. д. Конечно, реализация столь многочисленных дополнительных функций может быть осуществлена только в случае использования в телефонных аппаратах специализированных микросхем и микропроцессоров.

Интересно, что по данным Международного консультативного комитета по телеграфии и телефонии существует более 80 дополнительных видов обслуживания, в которых нуждаются абоненты.





19. БОД

Общеизвестно, что первую официальную телеграмму С. Морзе отправил 24 мая 1844 г. Это не совсем так. Дело в том, что самого слова "телеграмма" не существовало. В ходу был термин "телеграфная депеша" по аналогии со срочными почтовыми уведомлениями. Новый термин предложил в журнальной публикации 19 апреля 1852 г. инициативный американец Э. Смит, который использовал слова греческого происхождения (теле – далеко, грамма – буква). Греки обиделись и предложили более правильное название – телеграфема (графема – пишу), которое и используется в Греции. Однако было поздно. Новый термин уже приобрел мировое признание.

Вторая половина прошлого века отмечена бумом в области строительства телеграфных линий. Многие десятки тысяч километров линий (как правило, воздушных) возводились на всех континентах (кроме Антарктиды). Тереграммы передавались с помощью неравномерного кода Морзе, т. е. при передаче букв и цифр использовалось разное количество знаков кода: точек и тире. Например, буква е обозначалась точкой, а цифра 0 – пятью тире. Нередко при приемке возникали недоразумения, связанные со смысловым содержанием сообщений. Скорость передачи простым телеграфным ключом (аппарат Морзе) не превышала 70 . . . 90 знаков/мин. Принятая телеграмма в виде точек и тире на бумажной ленте была недоступна для прочтения адресатам, поэтому телеграфист выполнял еще функции переводчика и писца.

Результатом отмеченных обстоятельств стала низкая степень использования пропускной способности воздушных. а

позднее и кабельных линий связи. Если вспомнить, что стоимость сооружения физических линий связи и линейных устройств может достигать 70 . . . 80 % общих затрат, то невольно должна была возникнуть мысль о создании принципиально новой телеграфной аппаратуры.

Нельзя не отметить и большие затраты на эксплуатацию воздушных линий. Беспокойством проникнуты статьи, посвященные содержанию линий связи, в журналах конца прошлого и начала текущего веков. Ураганы, обвалы, наводнения, гололед выводили их из строя. Удары молний расщепляли деревянные опоры, расплавляли провода. Несмотря на пропитку столбы быстро гнили. Ничто не спасло их от различных жучков, муравьев, термитов, а также птиц (дятлов, ткачей, золотых подорожников, овсянок), обезьян и медведей. В Индии опоры валили слоны, потирая о них спину. Значительная часть столбов эксплуатировалась всего от двух до пяти лет. Вывод очевиден: следует использовать минимальное число подвешенных проводов и максимально использовать их пропускную способность.

Многие изобретатели пытались создать буквопечатающие телеграфные аппараты. Первым (1855) добился успеха живший в Англии и США Дейвид Эдуард Юз (1831–1900). Его аппараты эксплуатировались в России с середины 60-х гг. прошлого века и в модернизированном виде до 30-х гг. текущего. К линии связи на передающей и приемной сторонах подключалось по одному аппарату.

Скорость передачи заметно возросла, но техника усложнилась. Вот почему в 1902 г. в России эксплуатировались 5582 аппарата Морзе и только 269 аппаратов Юза.

Более радикальное решение поставленной проблемы нашел француз Ж. Бодо. В 1874 г. он получил патент на аппаратуру двухкратного, а в 1876 г. – пятикратного последовательного телеграфирования.

Идея, положенная в основу способа уплотнения канала связи, не нова. Подобным приемом пользовались еще ремесленники средневековья. Ремесленник постоянно принимал зака-

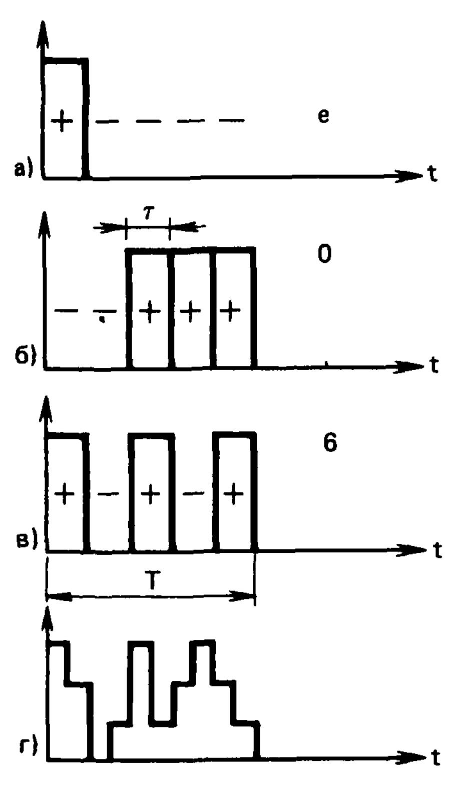


Рис. 22. Кодовые сигналы

зы от многих клиентов и сдавал выполненную работу в порядке какой-то очередности. Таким образом, ни ему, ни его подмастерьям не грозил простой.

Для передачи любой знаковой информации изобретатель предложил использовать равномерный пятиэлементный код, иначе говоря, знак передавался с помощью последовательной комбинации пяти одинаковых по длительности токовых и бестоковых посылок за интервал времени T. На рис. 22, *а* и *б* в комбинациях, соответствующих букве е и цифре 0, они обозначены знаками + и –. Таким образом удалось устранить путаницу при распознавании точек и тире кода Морзе, а также недоразумения при определении моментов начала и конца передачи отдельных знаков.

Принцип работы аппаратуры Бодо удобно пояснить с помощью рис. 23. На противоположных концах линии связи устанавливались постоянно и синхронно вращающиеся переключатели П1 и П2. На время передачи одного знака к линии последовательно подключались телеграфные аппараты 1, затем 2 и т. д. В свободное от передачи время телеграфисты набирали кодовую комбинацию. В настоящее время описанный способ поочередной передачи по одному каналу связи нескольких сообщений называется временны́м разделением канала.

Равномерный последовательный пятиэлементный код используется на телеграфных сетях всех стран. Он рекомендован Международным консультативным комитетом по телеграфии и телефонии (МККТТ) в 1932 г. Общепринятое сокращенное обозначение Международного телеграфного кода № 2 –

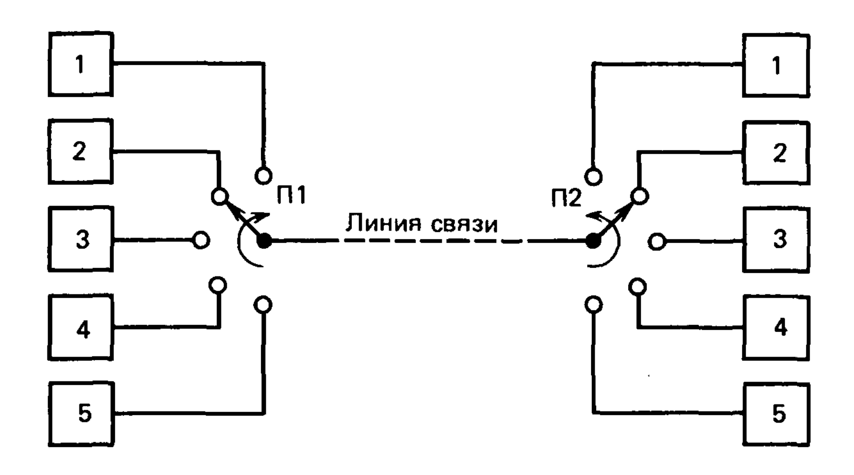


Рис. 23. Принцип организации телеграфной связи по системе Ж. Бодо

МТК № 2. Этим кодом с добавлением букв русского алфавита пользуются телеграфисты нашей страны. Обмен сообщениями по международным телеграфным сетям Телекс и Гентекс также осуществляется с помощью МТК № 2. Через первую из указанных сетей можно соединиться с абонентами почти во всех странах мира. Гентекс является сетью общего пользования стран, входящих в состав Совета Экономической Взаимопомощи (СЭВ).

Код МТК № 2 – двоичный или бинарный код, т. е. кодовые комбинации отличаются наличием или отсутствием токовых посылок длительностью τ (время передачи единичного элемента). Быстродействие телеграфных систем определяется скоростью модуляции – числом единичных элементов, передаваемых в течение 1 с. В 1927 г. решением МККТТ в честь Ж. Бодо единица скорости модуляции получила наименование бод.

В действующих национальных сетях общего пользования, а также в сетях Телекс и Гентекс скорость модуляции составляет 50 Бод. Между тем согласно рекомендациям МККТТ, а также стандартам страны допускается работа с большей скоростью (50; 100; 200; 300 Бод). В данном диапазоне скорос-

тей могут работать современные электронные телетайпы. Почему существует указанное несоответствие? Дело в экономике. Даже высокоразвитым странам дороговато сразу сменить действующий парк аппаратуры. А как быть с международным обменом телеграммами? Таких вопросов много. Частично они уже сейчас могут быть решены на основе использования последних достижений электроники.

Первые буквопечатающие аппараты Бодо заработали в 1877 г. на линии Париж—Бордо. В России они начали эксплуатироваться с 1904 г. на линии Москва—Петербург и в модифицированном виде применялись до 50-х гг. текущего столетия. Были созданы трех-, шести- и девятикратные аппараты, но все они строились на базе использования идеи скромного трудолюбивого француза.

Жан Морис Эмиль Бодо родился 11 сентября 1845 г. в местечке Манье (департамент Марна), расположенном западнее Парижа. Будучи сыном небогатого земледельца, он продолжительное время занимался сельскохозяйственными работами. О полученном образовании сведений не сохранилось. На службу в телеграфное ведомство поступил в 1870 г. Во время франко-прусской войны (1871—1872) продолжил службу на центральной телеграфной станции в Бордо. Там, детально ознакомившись с конструкциями действовавших телеграфных аппаратов, Бодо начал продумывать способы реализации многократного телеграфирования. С 1872 г. работа продолжалась на центральной телеграфной станции Парижа. Еще через два года проект аппаратуры для двухкратного телеграфирования получил одобрение технической комиссии Министерства почт и телеграфов.

Буквопечатающий многократный телеграфный аппарат — очень сложное электромеханическое изделие. Судя по темпам работы, изобретатель был прекрасным конструктором, электромехаником и технологом.

Дальше события развивались на редкость быстрыми темпами: 1876 г. — изобретение пятикратной аппаратуры; 1876—

1877 гг. — эксперименты и отладка аппаратуры; 1877 г. — ввод в эксплуатацию линии Париж—Бордо; 1878 г. — полное признание достоинств аппаратуры на Всемирной выставке в Париже, получение Большой золотой медали; 1878 г. — награждение изобретателя орденом Почетного легиона.

В 1881 г. одержана новая победа на конкурсе электрической выставки в Париже. Бодо без прохождения установленного ценза присваивается звание инженера. Несколько позже он получает премию Ампера.

Над совершенствованием аппаратуры многократного телеграфирования Ж. Бодо работал около 20 лет. Он изобрел способ формирования кодовых посылок (шифраторы), конструкции синхронных переключателей (распределители), способы синхронизации работы аппаратов, поляризованное реле (якорь реле отклонялся в противоположные стороны при смене направления тока в обмотке) и т. д. Пропускную способность линии удалось увеличить почти в 5 раз по сравнению с той, какой она была при использовании аппаратов Юза.

В 1900 г. Ж. Бодо серьезно заболел и скончался 23 марта 1903 г. в пригороде Парижа.

Аппараты Бодо использовались более 50 лет и только с 30-х гг. начали постепенно заменяться более совершенными — стартстопными. Однако сведений об изобретателе сохранилось крайне мало. Даже в многотомном библиографическом словаре, изданном Принстонским университетом (США), не нашлось места для хотя бы маленькой справки.

В последние годы для обеспечения возможности эффективного управления предприятиями, стройками, отраслями промышленности и т. д. стали применяться автоматизированные системы управления (АСУ), функционирующие на базе использования мощных ЭВМ. Быстродействие последних достигает уже многих миллионов операций в секунду. Справиться с такими информационными потоками телеграфным системам не под силу. Возникла необходимость в создании сетей передачи данных, представленных в виде каких-то дискрет-

ных отсчетов. При такой форме представления информации в месте приема сигнал можно полностью "освободить" от разного рода помех.

Количество информации измеряется в битах. Сложносокращенное слово "бит" образовано начальными буквами полного названия на английском языке (дословный перевод: двоичный знак или двоичная цифра). Не вдаваясь в тонкости определения термина, можно считать, что бит — это изменение амплитуды сигнала от одной фиксированной величины до другой. Тогда при передаче одного знака телеграфным кодом необходимо 5 бит (рис. 22, *а—в*). В сигнале, составленном по другому принципу (рис. 22, *г*), за то же время T будет передано 10 бит информации.

В общем, форма передаваемых сигналов может быть произвольной. Поэтому максимальную скорость передачи информации и пропускную способность систем связи принято оценивать в битах, переданных за 1 с. Существует много систем передачи дискретной информации (ПДИ). Самые медленные из них работают со скоростью 200 бит/с. Рекордная скорость, достигнутая на экспериментальной установке (1985), составила 4 Гбит/с. Сигнал передавался по волоконно-оптической линии связи на расстояние 100 км.

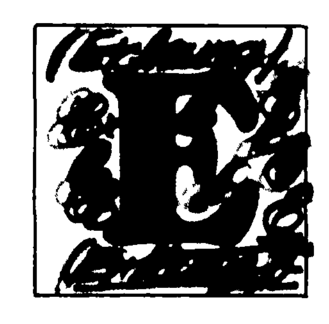
Все чаще практикуется передача телефонных сигналов, телевизионных сигналов и т. д. в дискретной, или цифровой форме. Уже действуют системы ПДИ по световодам на расстоянии тысяч километров с эквивалентной емкостью, измеряемой тысячами телефонных каналов. В мае 1985 г. Федеральная комиссия связи США выдала разрешение на прокладку первого волоконно-оптического кабеля для связи между США и Западной Европой по дну Атлантического океана. Предполагается закончить работу в 1989 г. Пропускная способность каждой из трех жил кабеля составит 295,6 Мбит/с. По трем другим жилам сигналы будут передаваться в обратную сторону. Новый трансатлантический кабель получил название ТАТ-8.

Около четверти века назад сняты с эксплуатации последние телеграфные аппараты Бодо, но разработанные им принципы организации связи и использования техники продолжают жить. Известно ли читателям, что они, возможно, часто пользуются системами с временны́м разделением каналов связи? Вероятно, нет. А между тем уже сейчас многие автоматические телефонные станции соединены между собой линиями, где сигналы звуковой частоты передаются по кабелям или световодам в импульсной форме. Сеть таких линий будет постоянно развиваться.

Скорость передачи информации F, бит/с, и скорость модуляции v, Бод, связаны простым соотношением: $F = v\log_2 N$, где N — число уровней квантования сигнала. В коде МТК № 2 $N = 2$ (сигнал либо есть, либо нет) и, таким образом, $F = v$. Аналогичная зависимость сохраняется при передаче информации по волоконно-оптическим линиям связи в случае использования импульсно-кодовой модуляции (ИКМ), когда сигнал по световоду передается в виде последовательности вспышек.

Скорость передачи дискретной информации постоянно увеличивается. Уже сейчас у разработчиков есть желание довести ее на магистральных линиях до 1 Гбит/с. Появились сообщения, что на экспериментальной линии в 1987 г. достигнута скорость 8 Гбит/с. Эта цифра впечатляет!





20. ЭРЛАНГ

Численность населения планеты Земля уверенно приближается к отметке 5 миллиардов. Возможно, когда читатель возьмет эту книгу в руки, прогноз уже станет реальностью. Устойчиво прослеживается тенденция концентрации населения в городах. В СССР отклонений не наблюдается. Отвечая на вопросы "Литературной газеты" (1986), известный демограф, доктор экономических наук А. Вишневский сообщил: "В 1970 г. в стране было 10 городов-миллионеров, в 1985 – 22. К 2000 г. в "клуб миллионеров" войдут еще не менее восьми городов: Ростов-на-Дону, Волгоград, Саратов, Рига, Красноярск, Запорожье, Воронеж, Львов".

Процесс концентрации населения порождает множество проблем. Нужны развитая транспортная система, четко работающие многочисленные торговые организации и предприятия службы быта, учреждения культуры и т. д. Все эти и другие элементы инфраструктуры крупных городов пока далеки от идеала. Можно ли достичь идеала? Экономически нецелесообразно. Нельзя у каждого дома сделать остановку транспорта, нельзя на каждой улице построить универсальный магазин. Решение сложных вопросов всегда достигается на основе многих компромиссов.

Пора обратиться к отрасли электросвязи. Стоящие перед ней задачи носят глобальный характер. Быстрая, надежная связь нужна в пределах города, области, республики, страны и с зарубежными абонентами. Средства связи требуется, естественно, разрабатывать на основе последних достижений науки и техники. Нужно строить универсальные разветвленные сети связи с высокой пропускной способностью. Все ука-

занные аспекты учитывались при проектировании Единой автоматизированной сети связи страны (ЕАСС). Тем не менее необходимо считаться с существующими потребностями в услугах связи и ближайшими перспективами. Зря израсходованные средства непременно обернутся убытками или тормозом в деле дальнейшего совершенствования сетей связи. Итак, всегда следует обращать пристальное внимание на реальную загрузку средств связи.

В печати нередко встречается термин "маркетинг". Он примелькался, хотя не имеет четкого толкования. Скорее всего, это — понятие о способах планирования и организации торговли, о методах управления ею с учетом достижений в сфере производства товаров и услуг, а также спроса на них.

Отчасти похожий термин — "телетрафик" используется в электросвязи. Его можно найти только в специальной технической литературе. Сложное слово "телетрафик" образовано начальными буквами полного названия на английском языке (дословный перевод: организация связи на расстоянии).

Количественную сторону процессов массового обслуживания исследуют на основе теории массового обслуживания — одного из разделов прикладной математики. Системы распределения информации, или системы телетрафика, являются частью общей теории. Основная цель теории телетрафика — разработать методы оценки качества функционирования систем распределения информации. Примечательно, что общая теория начиналась именно с теории телетрафика. Непосредственным "виновником" стал телефон.

В начале века мировой парк телефонных аппаратов исчислялся десятками миллионов. Вот тогда-то и возникла целая серия вопросов. Как оптимизировать структуру телефонной сети? Сколько каждый абонент должен сделать вызовов для осуществления нужного соединения? Должны ли существовать какие-то преимущества (приоритеты)? Каково должно быть время безотказной работы оборудования? Сколько абонентов из общего числа одновременно пользуются телефоном? Вопросам не было конца.

Все началось с изучения потоков вызовов. Поток оказался случайной величиной. Интенсивность потоков вызовов резко колеблется в зависимости от времени суток, меняется по дням недели, зависит от погоды или содержания телевизионной программы. В силу указанных обстоятельств основным математическим аппаратом теории телетрафика стали теория вероятностей, математическая статистика и комбинаторика.

В телефонии нагрузка рассчитывается по времени занятия одного выхода коммутационной системы. Если за некоторый отрезок времени было обслужено несколько абонентов, то нагрузка определяется суммарным временем занятий. За единицу нагрузки принято одно часо-занятие (ч.-зан.).

При расчете пропускной способности коммутационной системы важно знать среднюю интенсивность нагрузки, т. е. нагрузку за единицу времени. Интенсивность нагрузки измеряется числом часо-занятий за 1 ч или в эрлангах (1 ч.-зан./ч = = 1 Эрл) — по имени датского ученого А. К. Эрланга, ставшего основоположником теории телетрафика.

Степень использования выхода считается высокой при интенсивности 0,7 . . . 0,8 Эрл и хорошей при 0,6 . . . 0,7 Эрл. Это величина не постоянная и может меняться в широких пределах (в тысячи раз). Обычно при средней интенсивности нагрузки лишь 10 . . . 20 % абонентов одновременно участвуют в телефонных соединениях. В ночные часы нагрузка падает почти до нуля, а в вечерние часы и особенно в праздничные дни мы частенько длительное время не можем соединиться с нужным абонентом. Частые гудки свидетельствуют о том, что интенсивность нагрузки близка к 1 Эрл.

Приближение интенсивности к пределу свидетельствует о необходимости расширения парка станционной аппаратуры и о целесообразности строительства новых линий связи. Оценка предельной нагрузки производится в час наибольшей нагрузки (ЧНН) — непрерывный интервал времени, в течение которого средняя интенсивность нагрузки является наибольшей. По решению МККТТ измерения в ЧНН рекомендуется прово-

дить в рабочие дни двух последовательных недель 2 раза в год в месяцы наибольшей нагрузки.

Ранее указывались некоторые причины изменения интенсивности потоков вызовов, но далеко не все. Следует учитывать структуру абонентов – соотношение числа квартирных и учрежденческих телефонов и даже средний возраст населения. В крупных городах пик нагрузки приходится на пятницу, спад – на субботу и воскресенье. В июне, июле, августе интенсивность нагрузки меньше, чем в феврале, марте, ноябре и декабре.

Интенсивность нагрузки станционной аппаратуры во многом зависит от нас самих, уважаемый читатель. Известно, что в различных отраслях народного хозяйства занято 40 миллионов служащих, которые тратят на телефонные переговоры от 4 до 27 % рабочего времени, причем далеко не всегда с пользой. А 40–50 % попыток набрать телефонный номер заканчиваются ошибкой абонента. Как раз, когда автор работал над этой главой, раздался телефонный звонок. Снимаю трубку и слышу: "Алло, алло! Это я сюда попала?" Что можно ответить на такой вопрос . . .

Есть любители и особенно любительницы просто поболтать по телефону "за жизнь", т. е. ни о чем конкретно и обо всем одновременно часок, а то и больше. Скоро они самостоятельно перевоспитаются. В стране вводится повременная система оплаты телефонных разговоров. Беспристрастная ЭВМ аккуратно просуммирует время разговоров. Абонент невольно задумается над вопросом: платить или поменьше говорить?

Можно ли снизит интенсивность нагрузки без ущерба для дела? Безусловно! Давно существует культура телефонного общения на работе и в быту. Много полезных советов содержится в книгах Б. Волгина "Помогите телефону", а также Б. Волгина и Е. Полянской "Деловой телефон", вышедших в издательстве "Радио и связь".

Агнер Краруп Эрланг родился 1 января 1878 г. на юге полуострова Ютландия в семье сельского учителя. Мать М. Краруп происходила из хорошо известной в Дании духовной семьи.

Агнер с братом и двумя сестрами учились в школе, где преподавал отец. Юноша окончил школу в 14 лет, а после получения специального разрешения (из-за возраста) сдал экзамены на звание учителя и стал трудиться в родной школе ассистентом учителя. В 1894 –1901 гг. учился в Копенгагенском университете, затем работал учителем, увлекался математикой.

В Математическом обществе состоялось знакомство с известным математиком Енсеном, который оказал определяющее влияние на судьбу молодого талантливого учителя. После назначения Енсена главным инженером и руководителем технического отдела Копенгагенской телефонной компании (КТК) Эрлангу было предложено заняться вопросами применения математических методов для анализа телефонных систем. В 1908 г. от руководства КТК последовало официальное приглашение занять должность научного сотрудника в только что образованной физико-технической лаборатории. Позднее Эрланг возглавил лабораторию.

Работа началась с применения аппарата теории вероятностей при анализе нагрузки в телефонных сетях. Научные работы Эрланг публиковал с 1909 г. Он вывел ряд формул и закономерностей, о которых трудно что-либо написать в популярной форме, но они явились фундаментом при разработке теории телетрафика. Все работы публиковались на датском языке.

В январе 1929 г. А. К. Эрланг тяжело заболел и скончался 3 февраля того же года. Работы в области теории телетрафика продолжил другой известный датский математик К. Пальм. Он сделал многие обобщения работ Эрланга, по его предложению в 1943 г. был объявлен конкурс на название единицы интенсивности телефонной нагрузки. Так состоялось увековечивание имени А. К. Эрланга.

В иностранной литературе единица интенсивности телефонной нагрузки обозначается прописной буквой E, но при этом обычно в скобках однажды указывается полное название, так как буквой E принято обозначать напряженность электрического поля.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Различные системы единиц физических величин создавались многими десятилетиями. Среди единиц, использовавшихся в технике электросвязи, были гаусс, гильберт, максвелл, непер, био, франклин. После принятия СИ эти единицы встречаются только в старой литературе и никаких сведений о них в настоящем издании не приводится.

Знакомство с 19 краткими биографиями ученых, по именам которых названы единицы СИ, вероятно, навело читателя на мысль, что честь им воздана вполне заслуженно. Все они были разными по происхождению, воспитанию, образованию, характеру и образу жизни. Паскаль, Вольта, Ампер, Сименс, Уатт, Джоуль, Генри, Фарадей не имели специального образования, учились самостоятельно. Большая часть ученых (за исключением Паскаля, Сименса, Уатта, Джоуля, Теслы, Бодо, Эрланга) преподавали в высших учебных заведениях, все в той или иной мере стали первооткрывателями и изобретателями. Только один из них – Сименс серьезно и почти всю жизнь занимался предпринимательством.

Самоотверженность, хотя и не всегда без элементов честолюбия, невероятная трудоспособность и целеустремленность– вот черты характера, присущие большинству ученых. Многие из них бедствовали, болели, но оставались верны своему делу, работали по 12 . . . 15 часов в день, а Тесла иногда сутками не выходил из лаборатории. На личную жизнь времени не хватало. Не удивительно, что почти половина ученых так и не обзавелась собственными семьями. Лишь Вольта и Томсон (Кельвин) не знали серьезных жизненных невзгод.

Ученые, о которых велось повествование, несомненно заслужили право навечно остаться в памяти потомков. Они славно поработали!

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Кузнецов Б. Г.** Ньютон. — М.: Мысль, 1982. — 175 с.
2. **Кляус Е. М., Погребысский И. Б., Франкфурт У. И.** Паскаль. — М.: Наука, 1971. — 432 с.
3. **Белькинд Л. Д.** Андре-Мари Ампер. — М.: Наука, 1968. — 278 с.
4. **Кошмаков В. В.** Георг Ом. — М.: Просвещение, 1980. — 112 с.
5. **Конфедератов И. Я.** Джеймс Уатт — изобретатель паровой машины. — М.: Наука, 1969. — 223 с.
6. **Цверава Г. К.** Джозеф Генри. — Л.: Наука, 1983. — 184 с.
7. **Кудрявцев П. С.** Фарадей. — М.: Просвещение. 1969. — 168 с.
8. **Цверава Г. К.** Никола Тесла. — Л.. Наука, 1974. — 212 с.
9. **Григорьян А. Т., Вяльцев А. Н.** Генрих Герц. — М.: Наука, 1968. — 310 с.
10. **Кудрявцев П. С.** Курс истории физики. — М.: Просвещение, 1974. — 312 с.
11. **Храмов Ю. А.** Физики. Биограф. справочник. — М.: Наука, 1983. — 400 с.
12. **Уилсон М.** Американские ученые и изобретатели. — М.: Знание, 1975. — 151 с.
13. **Собесяк Р.** Шеренга великих физиков. — Варшава: Наша Ксенгария, 1969. — 175 с.
14. **Борец Т.** Здравствуйте, господин Ампер. — Минск: Вышейшая школа, 1981. — 304 с.
15. **Самарин М. С.** Город с городом, страна со страной. — М.: Радио и связь, 1983. — 168 с.
16. **Жизнь** науки/Сост. и автор библиограф. очерков проф. С. П. Капица. — М.: Наука, 1973. — 598 с.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Производственное издание

САМАРИН МИХАИЛ СЕРГЕЕВИЧ

ВОЛЬТ, АМПЕР, ОМ И ДРУГИЕ. ЕДИНИЦЫ ФИЗИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН В ТЕХНИКЕ СВЯЗИ

Заведующий редекцией **В. Н. Вяльцев**
Редактор **Н. Я. Липкина**
Художник **А. В. Сальников**
Художественный редактор **А. В. Проценко**
Технический редактор **Т. Н. Зыкина**
Корректор **А. К. Акименкова**

ИБ № 1148

Подписано в печать 10.11.87 Т-19057 Формат 70Х100/32 Бумага офс. № 1 Гарнитура "Универс" Печать офсетная Усл. печ. л. 7,475 Усл. кр.-отт. 30,387 Уч.-изд. л. 7,54 Тираж 50 000 экз. Изд. № 21 078 Зак № 1173 Цена 50 к.
Издательство "Радио и связь". 101000 Москва Почтамт, а/я 693

Типография издательства "Калининградская правда". 236000, г. Калининград обл., ул. К. Маркса, 18